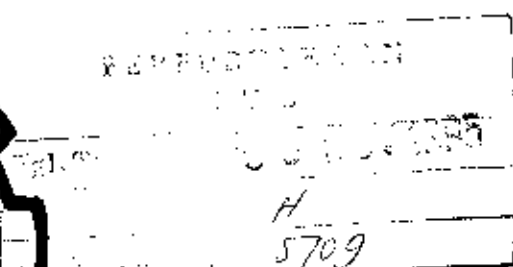


TUGAS AKHIR

STUDI PENGARUH NUTRIEN DAN BEBAN ORGANIK TERHADAP PENURUNAN KANDUNGAN COD PADA AIR LIMBAH PABRIK TAHU DENGAN REAKTOR ANAEROBIK ALIRAN HORIZONTAL

RSS
628 166
Mu2
S-1

1995



Disusun oleh :

M U Z A Y A N A H

NRP. 3893300166

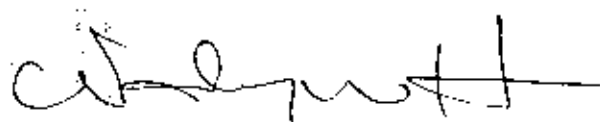
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1995

**STUDI PENGARUH NUTRIEN DAN BEBAN ORGANIK
TERHADAP PENURUNAN KANDUNGAN COD PADA
AIR LIMBAH PABRIK TAHU DENGAN REAKTOR
ANAEROBIK ALIRAN HORIZONTAL**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Lingkungan
Pada
Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Mengetahui / Menyetujui
Dosen Pembimbing,



Dr. Ir. WAHYONO HADI, M.Sc.
NIP. 130 805 286

S U R A B A Y A
MARET, 1995

ABSTRAK

Pengadaan unit pengolahan limbah bagi industri-industri rumah tangga dirasakan sulit, karena keterbatasan dana serta kesulitan dalam pengoperasian dan pemeliharaan. Padahal tidak sedikit dari mereka yang mengeluarkan limbah dengan beban polusi tinggi bila langsung dibuang ke badan air. Salah satunya ialah pabrik tahu.

Pengolahan limbah secara anaerobik dengan reaktor Anaerobik Aliran Horisontal (dengan penyekat atau baffle) merupakan salah satu alternatif yang efektif untuk pengolahan limbah dengan kadar organik tinggi.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi penurunan bahan organik pada proses anaerobik, diantaranya ialah rasio nutrisi dan beban organik. Oleh karena itu dilakukan penelitian di laboratorium untuk mengetahui sejauh mana pengaruh rasio nutrisi dan beban organik terhadap efisiensi penurunan bahan organik. Pada penelitian ini, penurunan bahan organik ditentukan dengan analisa COD (Chemical Oxygen Demand). Untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi, tidak dilakukan pembuangan lumpur.

Dari hasil penelitian diketahui bahwa untuk air limbah pabrik tahu, perbandingan nutrisi yang paling sesuai adalah 100:1,25:0,25. Dianggap sesuai, karena pertumbuhan mikroba dan efisiensi removal COD yang diperoleh paling tinggi. Perbandingan nutrisi sangat berpengaruh terhadap proses pengolahan air limbah, karena berhubungan dengan kecukupannya kebutuhan nutrisi mikroorganisme dalam proses. Jika nutrisi kurang, dapat menjadi penyebab terhambatnya proses karena mikroorganisme tidak dapat tumbuh secara optimal. Sebaliknya, jika nutrisi berlebih, keberadaannya dapat mengganggu proses.

Sedangkan peningkatan beban organik dapat meningkatkan efisiensi removal COD, dimana efisiensi tertinggi didapatkan pada beban organik 5,3 kg/m³.day atau pada waktu detensi 9 jam dengan konsentrasi COD influen sebesar 2000 mg/l. Pada waktu detensi 6 jam atau beban organik 8 kg/m³.day, efisiensi menurun karena substrat yang masuk ke dalam reaktor terlalu banyak.

KATA PENGANTAR

Dengan segala kerendahan hati penyusun mengucapkan syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT karena atas berkenan-Nyalah, penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang merupakan syarat untuk menyelesaikan tahap studi S-1 di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Judul yang diambil dalam Tugas Akhir ini adalah :

**"STUDI PENGARUH NUTRIEN DAN BEBAN ORGANIK TERHADAP
PENURUNAN KANDUNGAN COD PADA AIR LIMBAH PABRIK TAHU
DENGAN REAKTOR ANAEROBIK ALIRAN HORIZONTAL"**

Terlaksananya penelitian beserta laporan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan serta dorongan oleh berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini penyusun menyampaikan rasa terima kasih yang dalam kepada :

- o Bapak dan Ibu tercinta, serta mas-masuku atas dorongan moril dan materiil yang telah diberikan,
- o Bpk. Dr. Ir. Wahyono Hadi MSc., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang telah membimbing penyusun hingga Tugas Akhir ini selesai,
- o Bpk. Ir. M. Razif, selaku dosen wali yang telah membimbing penyusun selama kuliah di Teknik Lingkungan,
- o Bpk. Ir. J.B. Widiadi M. Eng. Sc., selaku Kepala Laborato-

- rium Teknik Lingkungan, atas segala fasilitas di laboratorium selama penyusun melakukan penelitian,
- o Bpk. Ir. Joni Hermana B. MSc.Es dan Ibu Ir. Nieke K., atas dorongan dan sumbangan-pikiran beliau berdua kepada penyusun,
 - o Segenap bapak dan ibu dosen pengajar di Jurusan Teknik Lingkungan, atas bimbingan dan perhatian selama penyusun kuliah di Teknik Lingkungan, ITS,
 - o Segenap karyawan/wati di Sekretariat Teknik Lingkungan (mbak Nunung, mas Anwar, mas Edi dan cak Supar),
 - o Mas Hadi, mbak Nur dan mas-mas yang lain di laboratorium Teknik Lingkungan, atas bantuannya selama penelitian berlangsung,
 - o Pimpinan perusahaan tahu Tirta Buana, Surabaya,
 - o Rekan sekerja, Anthony Philip C, serta rekan-rekan TL Angkatan '89 : Enny, Fithri, Frida, Grasia, Winda, Evy, Indri, Ciska, Lisa, Yani, Ubed, Robid, Yudha, Tony, Iwan, Alfian, Seno dan Doddy, atas bantuan dan dorongan semangat selama penelitian berlangsung,
 - o Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, tetapi bantuannya sangat berarti bagi penyusun.

Akhir kata penyusun berharap laporan ini kiranya dapat memberikan manfaat bagi pembaca dalam mengembangkan ilmu pengetahuan.

Maret, 1995
Muzayannah

DAFTAR ISI



	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	I - 1
1.2. Ide Studi	I - 2
1.3. Tujuan Penelitian	I - 4
1.4. Ruang Lingkup	I - 5
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Gambaran Umum Proses Anaerobik	II - 1
2.2. Mikrobiologi	II - 6
2.2.1. Bakteri Nonmethanogenic	II - 6
2.2.2. Bakteri Methanogenic	II - 9
2.3. Produksi Biogas	II - 13
2.4. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Anaerobik	II - 15
2.4.1. Temperatur	II - 16
2.4.2. pH	II - 17
2.4.2.1. Hidrolisis - Fermentatif	II - 17
2.4.2.2. Digesti Methan	II - 18
2.4.3. Nutrien	II - 20
2.4.4. Kation	II - 23
2.4.5. Pembatas Rate Proses	II - 26
2.5. Kinetika Proses	II - 27
2.6. Anaerobic Baffled Reactor	II - 33
2.7. Tahu dan Proses Pembuatannya	II - 34
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Umum	III - 1
3.2. Kerangka Penelitian	III - 1
3.3. Model Pengolah Air Buangan	III - 3
3.4. Air Buangan yang Diolah	III - 4
3.5. Kondisi Operasional Percobaan	III - 6
3.6. Prosedur Pelaksanaan	III - 8
3.6.1. Pembenihan (Seeding) dan Aklimatisasi	III - 8
3.6.2. Pembebanan	III - 10
3.6.3. Parameter yang Dikontrol	III - 10
3.6.3.1. Konsentrasi Influen	III - 10
3.6.3.2. Waktu Detensi	III - 10
3.6.3.3. pH	III - 11
3.6.3.4. Temperatur	III - 11

3.6.4. Parameter-parameter yang Dianalisa	III - 12
3.6.4.1. pH	III - 12
3.6.4.2. COD (Chemical Oxygen Demand)	III - 12
3.6.4.3. Nitrogen	III - 12
3.6.4.4. SS (Suspended Solid) dan VSS (Volatile Suspended Solid)	III - 13
3.6.4.5. Volume Lumpur	III - 14
3.6.4.6. SVI (Sludge Volume Index)	III - 14
3.6.4.7. Volume Gas	III - 14
3.6.5. Sampling	III - 15
3.6.6. Pengambilan Sampel	III - 16
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
4.1. Umum	IV - 1
4.2. Pengaruh Nutrien terhadap Penurunan Kandungan COD	IV - 4
4.3. Pengaruh Beban Organik terhadap Penurunan Kandungan COD	IV - 14
4.4. Lain-lain	IV - 26
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	V - 1
5.2. Saran	V - 2
DAFTAR PUSTAKA	viii
LAMPIRAN	
A. Prosedur Analisa	L - 1
B. Pembuatan Kurva Kalibrasi	L - 14
C. Penyiapan Sampel	L - 20
D. Pengaturan Debit	L - 23
E. Foto-foto	L - 25
F. Fluktuasi produksi biogas	L - 32

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Genus bakteri hidrolisis-fermentatif yang terlibat dalam digesti anaerobik	II - 7
Tabel 2.2. ATP yang dihasilkan dari berbagai fermentasi glukosa	II - 8
Tabel 2.3. Konsentrasi inhibitor dari beberapa asam karboksilik	II - 9
Tabel 2.4. Bakteri Methanogenic	II - 10
Tabel 2.5. Batas toksisitas logam berat untuk digesti anaerobik	II - 25
Tabel 2.6. Koefisien kinetika untuk penggunaan substrat dan pertumbuhan biologis	II - 32
Tabel 4.1. Perlakuan variabel penelitian pada reaktor anaerobik	IV - 3
Tabel 4.2. Data hasil penelitian dengan variasi nutrisi	IV - 6
Tabel 4.3. Pertumbuhan biomassa berdasarkan variasi nutrisi	IV - 9
Tabel 4.4. Data hasil penelitian dengan variasi waktu detensi	IV - 16
Tabel 4.5. Pertumbuhan biomassa berdasarkan variasi waktu detensi	IV - 18
Tabel 4.6. Hasil penelitian saat konsentrasi COD influen 4000 mg/l dengan waktu detensi 24 jam	IV - 28

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<div style="border: 1px solid black; height: 15px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px);"></div>	
Gambar 2.1. Gambaran konversi molekul kompleks menjadi metana dan karbondioksida	II - 4
Gambar 2.2. Skema pemecahan polymer organik	II - 5
Gambar 2.3. Pengaruh temperatur pada produksi gas	II - 16
Gambar 2.4. Hubungan antara pH dan konsentrasi bikarbonat pada suhu sekitar 35°C	II - 19
Gambar 2.5. Pengaruh pH pada rate fermentasi bakteri metana	II - 20
Gambar 2.6. Pengaruh kation pada fermentasi metana	II - 26
Gambar 2.7. Anaerobic Baffled Reactor	II - 34
Gambar 2.8. Diagram alir proses pembuatan tahu	II - 36
Gambar 3.1. Diagram alir kerangka penelitian	III - 2
Gambar 3.2. Reaktor anaerobik yang dipakai penelitian	III - 5
Gambar 3.3. Diagram alir kondisi pengoperasian reaktor anaerobik	III - 8
Gambar 3.4. Letak pengambilan sampel	III - 17
Gambar 4.1. Percobaan lumpur relatif berdasarkan rasio COD:N	IV - 10
Gambar 4.2. Efisiensi penurunan COD berdasarkan rasio COD:N	IV - 11
Gambar 4.3. Efisiensi penurunan COD berdasarkan waktu detensi pada COD influen 2000 mg/l	IV - 19
Gambar 4.4. Efisiensi penurunan COD berdasarkan beban organik	IV - 20
Gambar 4.5. Efisiensi penurunan COD berdasarkan pertumbuhan lumpur relatif	IV - 21
Gambar 4.6. Pertumbuhan lumpur relatif berdasarkan beban organik	IV - 22

BAB I

P E N D A H U L U A N

1.1. Latar Belakang

Meningkatnya kualitas pencemaran yang timbul dari buangan cair sebagai akibat semakin besarnya kuantitas dan ragam industri, menyebabkan badan air penerima tidak mampu lagi menetralkan air buangan yang ada dengan pengolahan secara alami. Untuk mengatasi hal tersebut, perlu dilakukan berbagai upaya dengan tujuan melestarikan alam dan memelihara kesetimbangan lingkungan hidup. Antara lain dengan mencari berbagai alternatif sistem pengolahan air buangan.

Bagi industri-industri rumah tangga, pengadaan unit pengolah limbah dirasakan sulit, karena keterbatasan dana serta kesulitan dalam pengoperasian dan pemeliharaannya. Padahal tidak sedikit dari mereka yang mengeluarkan limbah dengan beban polusi tinggi bila langsung dibuang ke badan air penerima.

Salah satu contoh industri rumah tangga yang mengeluarkan air buangan dengan kadar organik tinggi adalah pabrik tahu. Air limbah ini berasal dari air bekas perendaman kedelai dan air bekas pembuatan tahu.

Selama ini, air buangan dari pabrik tahu seringkali

dibuang langsung ke sungai sehingga mengurangi kadar oksigen terlarut dalam air. Bila hal ini terus berlanjut, akan menimbulkan kondisi septik dan bau busuk yang akan mengganggu masyarakat dari segi estetika dan kesehatan.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pemanfaatan unit pengolah limbah yang murah dan memiliki efisiensi tinggi bagi industri-industri rumah tangga, seperti pabrik tahu, merupakan pilihan yang tepat. Diharapkan dengan unit pengolahan limbah tersebut, air buangan dapat memenuhi baku mutu air limbah yang telah ditetapkan.

Pengolahan air buangan secara anaerobik merupakan salah satu alternatif pemecahan yang cukup ekonomis untuk permasalahan di atas. Diniilai cukup ekonomis, karena memanfaatkan aktivitas mikroorganisme dalam proses pengolahan itu sendiri. Selain menghasilkan efisiensi removal yang tinggi dan jumlah lumpur yang sedikit, pengolahan secara anaerobik juga menghasilkan gas bio dengan bantuan mikro-organisme fakultatif dan anaerobik dalam kondisi tanpa oksigen.

1.2. Ide Studi

Dari berbagai macam pengolahan anaerobik, reaktor anaerobik aliran horizontal dengan penyekat (baffle) atau Anaerobic Horizontal Baffled Reactor (AHBR) merupakan salah

satu alternatif.

Reaktor ini pernah dicobakan pada limbah pabrik kertas dan ternyata efisiensi yang dihasilkan cukup tinggi, yaitu sekitar 60 %. Dengan pemakaian bahan kimia yang lebih sedikit, diperkirakan penguraian bahan organik yang terjadi pada limbah pabrik tahu dapat lebih besar.

Telah diketahui bahwa kapasitas pengolahan suatu reaktor terutama ditentukan oleh banyaknya lumpur aktif yang dapat tertahan dalam reaktor dan kontak yang dicapai antara lumpur aktif dan air buangan yang masuk. Lebih banyak lumpur yang tertahan dalam reaktor dan lebih baik kontak yang terjadi antara lumpur dan air buangan, maka potensi pembebanan reaktor semakin tinggi. Dengan demikian maka reduksi bahan organik yang terjadi bisa lebih besar.

Oleh karena itu pada penelitian ini, jumlah lumpur tidak dijaga tetap, artinya lumpur dibiarkan terakumulasi di dalam reaktor.

Selain itu untuk memperbesar kontak antara substrat yang masuk dengan lumpur di dalam reaktor, maka baffle atas diletakkan dekat dengan baffle bawah (berjarak 2 cm). Sedangkan untuk inlet air buangan, dipakai tee, sehingga tidak terjadi aliran pendek (short circuiting).

Berdasarkan pemikiran tersebut, dirasa perlu untuk melakukan penelitian tentang pengaruh nutrisi dan beban organik terhadap besarnya penurunan bahan organik yang

terjadi dalam AHR.

Parameter-parameter yang dipakai di dalam penelitian ini adalah komposisi kandungan nutrisi yang ditambahkan serta organik loading. Parameter - parameter tersebut merupakan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi proses yang terjadi. Sejahter mana pengaruh tersebut, diharapkan dapat dilihat dari hasil penelitian ini.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh nutrisi dan beban organik terhadap penurunan bahan organik pada pengolahan air limbah pabrik tahu dengan menggunakan AHR. Karena tidak dilakukan pembuangan lumpur, maka besarnya penurunan bahan organik dipengaruhi juga oleh jumlah lumpur yang tertahan di dalam reaktor.

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh tersebut, dilakukan variasi terhadap komposisi kandungan nutrisi dan beban organik.

Adapun besarnya penurunan bahan organik ditentukan dengan analisa COD (Chemical Oxygen Demand).

Sebagai data pelengkap, pada sampel influen dan efluen dilakukan analisa NH_4^+ , NO_3^- , SS, dan pH. Serta analisa pH, volume lumpur, SS, VSS dan SVI untuk lumpur di

dalam reaktor.

Secara teoritis, semakin besar penurunan bahan organik yang terjadi akan sebanding pula dengan besarnya gas bio yang terbentuk. Untuk itu dilakukan juga pengukuran terhadap volume gas bio yang terbentuk, sebagai indikator terjadinya aktifitas mikroorganisma anaerobik.

1.4. Ruang Lingkup

Berdasarkan tujuan penelitian yang telah diuraikan pada sub bab 1.3., ruang lingkup penelitian ini dibatasi sebagai berikut :

1. Pemakaian model instalasi pengolah air buangan secara biologis menggunakan proses anaerobik dengan aliran horizontal.
2. Sampel air yang dipakai adalah air limbah pabrik tahu.
3. Lumpur sebagai sumber mikroorganisma diambil dari Kali Brantas, Surabaya.
4. Pengoperasian model instalasi pengolah air buangan dengan melakukan variasi terhadap komposisi kandungan nutrisi atau perbandingan COD:N:P dan beban organik, dengan tidak melakukan pembuangan lumpur.
5. Analisa terhadap parameter penelitian meliputi :
 - parameter utama : COD

□ parameter pelengkap :

* untuk influen dan efluen :

pH, gas bio, NH_4^+ , NO_3^- , SS

* untuk mengetahui karakteristik lumpur :

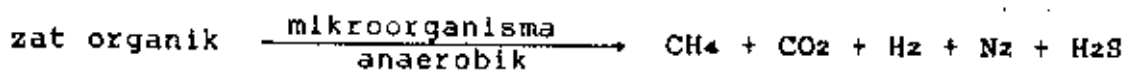
pH, volume lumpur, MLSS, MLVSS dan SVI

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gambaran Umum Proses Anaerobik

Degradasi zat organik secara mikrobiologi dalam lingkungan anaerobik hanya dapat dilakukan oleh mikro-organisma yang dapat menggunakan molekul selain oksigen sebagai akseptor hidrogen. Dekomposisi anaerobik pada akhirnya, menghasilkan biogas yang terdiri dari metan (50 - 70%), karbondioksida (25 - 45%) dan sejumlah kecil hidrogen sulfida. Reaksi kimia secara keseluruhan sering disederhanakan sebagai berikut :



Pada kenyataannya degradasi anaerobik zat organik secara kimia merupakan proses yang sangat rumit, yang melibatkan ratusan komponen intermediat dan reaksi, yang masing-masing dikatalis oleh enzim atau katalis khusus. Kemampuan mikroorganisma anaerobik untuk mempengaruhi transformasi atau reaksi yang khusus, tergantung pada keberadaan enzim atau katalis khusus untuk reaksi tersebut.

Pada organisma aerobik, substrat karbon dioksidasi menjadi CO_2 dengan melepas elektron dan untuk memelihara

netralitas elektron, elektron ini diterima oleh O_2 yang direduksi menjadi H_2O . Reduksi O_2 melalui sejumlah jalur biokimia, dilakukan oleh satu grup bakteri dan menghasilkan sejumlah besar energi.



Pada organisme anaerobik, proses berlangsung tanpa kehadiran O_2 , karenanya elektron yang dilepaskan selama oksidasi substrat harus diterima oleh substansi lainnya. Selama respirasi anaerobik, elektron diterima nitrat (NO_3^-), sulfat (SO_4^{2-}) dan karbondioksida (CO_2), sebagai pilihan untuk menghasilkan produk gas nitrogen (N_2), hidrogen sulfida (H_2S) dan metana (CH_4). Dalam fermentasi anaerobik, elektron akseptornya adalah komponen organik, dengan hasil sebagian fraksi substrat karbon dioksidasi menjadi CO_2 untuk mendapatkan energi, sementara sisanya direduksi untuk memelihara netralitas elektron. Salah satu contohnya ialah fermentasi gula menjadi CO_2 dan alkohol.

Energi yang dilepaskan selama reaksi redoks disimpan oleh bakteri dalam bentuk ATP (adenosin triphospat) dan massa sel yang dihasilkan per mol substrat yang dikatabolis berhubungan langsung dengan jumlah ATP yang dihasilkan per mol substrat. Dari suatu analisa, dapat disimpulkan bahwa rate pertumbuhan bakteri berhubungan secara langsung dengan cell yield dan dengan energi yang diperoleh dari reaksi

redoks. Karena reaksi anaerobik menghasilkan energi dalam jumlah kecil, maka bakteri anaerobik tumbuh dengan lambat.

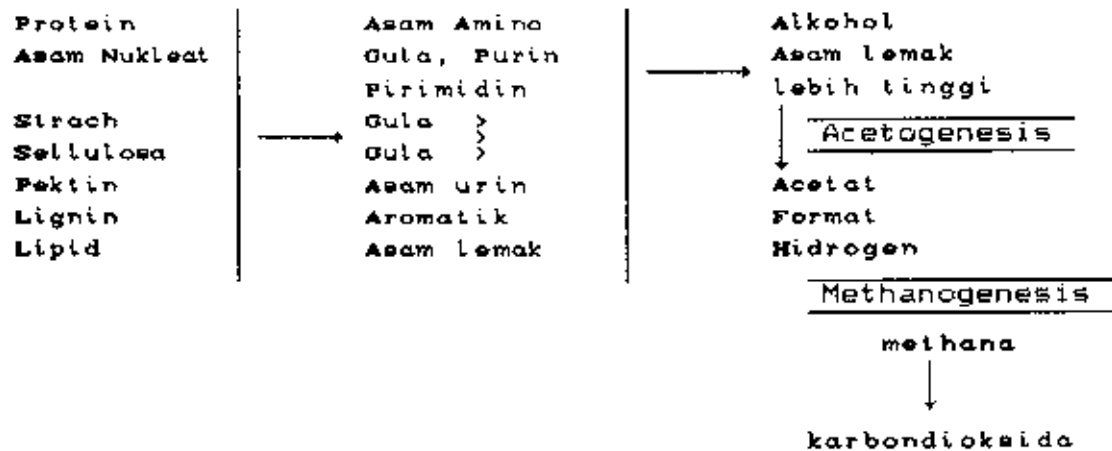
Penguraian zat organik menjadi gas metan pada proses anaerobik melalui tiga tahap, yaitu :

1. Tahap hidrolisa, dimana zat organik tersuspensi dan terlarut dihidrolisa menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana.
2. Tahap acetogenesis, dimana hasil hidrolisa difermentasi menjadi komponen organik sederhana, terutama asam asetat atau bentuk lain yang tidak stabil seperti asam butirat dan asam propionat.
3. Tahap methanogenesis, yaitu tahap pembentukan gas dari senyawa asetat, karbon dioksida dan hidrogen oleh bakteri penghasil metan.

Gambar berikut memperlihatkan konversi molekul kompleks menjadi metan dan karbon dioksida menurut Verstraete, W.H.

Polimer → monomer → metabolisme kedua → hasil akhir

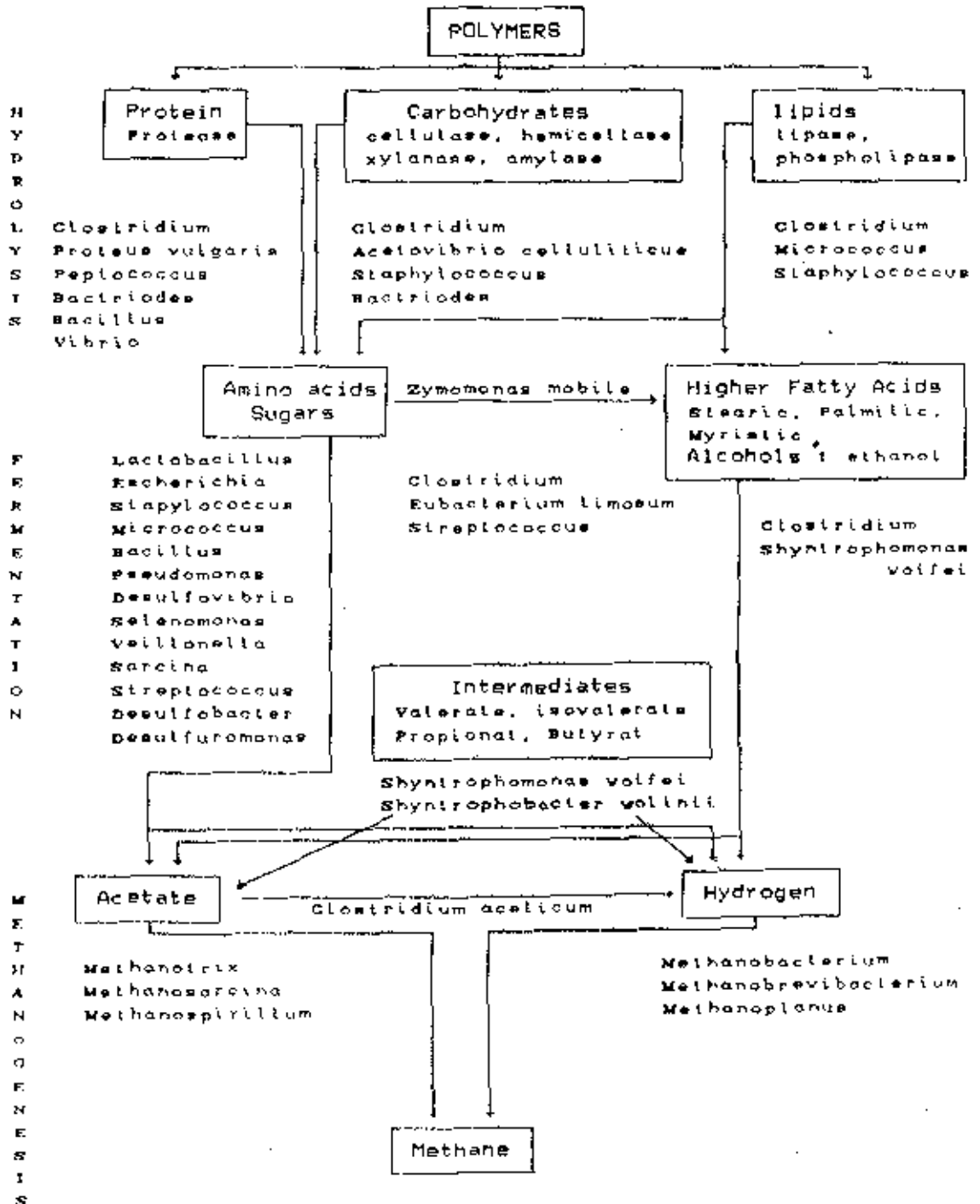
H I D R O L I S A - F E R M E N T A S I



Gambar 2.1. Gambaran konversi molekul kompleks menjadi metana dan karbondioksida

Sumber : Verstraete, W. K., 1991

Stabilitas digesti anaerobik tergantung pada keseimbangan populasi grup-grup bakteri yang berperan dalam ketiga tahap tersebut. Jika proses menerima beban kejutan atau kehadiran sebuah substansi penghambat dalam feed, reaksi ketiga grup bakteri ini berbeda. Methanogenic merupakan grup dengan pertumbuhan yang paling lambat dalam keseluruhan proses dan yang paling sensitif terhadap substansi penghambat. Tanda-tanda tipikal gangguan proses adalah penurunan dalam produksi gas dan naiknya intermediate asam volatile (asetat, propionat) di atas level biasa (200 mg/l sebagai asetat). Untuk lebih jelasnya, lihat gambar 2.2.



Gambar 2.2. Skema pemecahan polymer organik

Sumber : after Setiadi, R., 1993

2.2. Mikrobiologi

Seperti dijelaskan dalam bab 2.1., penguraian zat organik dalam pengolahan anaerobik terjadi dalam tiga tahap, yaitu :

1. Transformasi yang dilakukan enzim terhadap komponen organik dengan berat molekul besar menjadi komponen yang dapat digunakan sebagai sumber karbon sel dan energi.
2. Perubahan komponen yang dihasilkan dari langkah pertama menjadi komponen intermediat dengan berat molekul rendah.
3. Perubahan komponen intermediat menjadi hasil akhir yang sederhana, terutama metan dan karbondioksida.

Ketiga tahap tersebut, oleh beberapa ahli dikelompokkan lagi menjadi dua tahap, dimana langkah pertama dan kedua terjadi secara simultan dan dianggap sebagai langkah pertama.

Dalam proses dua tahap, mikroorganisma yang melakukan penguraian zat organik dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu bakteri nonmethanogenic dan bakteri methanogenic.

2.2.1. Bakteri Nonmethanogenic

Kelompok bakteri ini melakukan hidrolisa dan fermentasi komponen organik kompleks menjadi asam organik sederhana, yang paling sering adalah asam asetat dan asam propionat. Kelompok mikroorganisma ini disebut juga sebagai *bakteri pembentuk asam*. Tabel 2.1. memperlihatkan genus

bakteri hidrolisis-fermentatif yang terlibat dalam digesti anaerobik.

Tabel 2.1. Genus bakteri hidrolisis - fermentatif yang terlibat dalam digesti anaerobik

A. Polimer menjadi monomer	
Sellulosa	<i>Acetovibrio</i> <i>Bacteroides</i> <i>Clostridium</i> <i>Neocallimastix</i> <i>Ruminococcus</i>
Starch	<i>Bacteroides</i> <i>Streptococcus</i>
Pektin	<i>Bacteroides</i> <i>Clostridium</i> <i>Enterobacter</i> <i>Erwinia</i> <i>Klebsiella</i>
Protein	<i>Bacteroides</i> <i>Clostridium</i>
Lipid	<i>Anaerovibrio</i> <i>Bacteroides</i> <i>Butyrivibrio</i>
B. Monomer ke metabolisme kedua	
	<i>Bacteroides</i> <i>Clostridium</i> <i>Citrobacter</i> <i>Eschericia</i> <i>Lactobacillus</i> <i>Propionibacterium</i> <i>Streptococcus</i>

Sumber : Verstraete, W. H., 1991

Tabel 2.2. memberi gambaran beberapa pola fermentasi

glukosa dengan hasil ATP masing-masing. Makin banyak mol ATP dihasilkan per mol substrat, makin banyak energi yang diperoleh bakteri per mol substrat. Dan terlihat bahwa hanya bakteri propionic yang mampu menggunakan 5 mol ATP per mol glukosa. Bakteri ini merupakan kompetitor kuat. Yang perlu diperhatikan selama fermentasi berlangsung adalah pH yang cenderung turun karena terbentuknya proton.

Tabel 2.2. ATP yang dihasilkan dari berbagai fermentasi glukosa

1. $C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 0,67 CH_3COO^- + 1,33 CH_3CH_2COO^- + 0,67 HCO_3^- + 2,67 H^+$	$\Delta G'^\circ \text{ kJ/r} = -310$	ATP/r = 5,33
2. $C_6H_{12}O_6 + 2 H_2 \longrightarrow 2 CH_3CH_2COO^- + 2 H_2O + 2 H^+$	$\Delta G'^\circ \text{ kJ/r} = -358$	ATP/r = 5
3. $C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 3 CH_3COO^- + 3 H^+$	$\Delta G'^\circ \text{ kJ/r} = -310$	ATP/r = 5
4. $C_6H_{12}O_6 + 4 H_2O \longrightarrow 2 CH_3COO^- + 2 HCO_3^- + 4 H_2 + 4 H^+$	$\Delta G'^\circ \text{ kJ/r} = -206$	ATP/r = 4
5. $C_6H_{12}O_6 + 2 H_2O \longrightarrow CH_3CH_2CH_2COO^- + 2 HCO_3^- + 3 H^+ + 2 H_2$	$\Delta G'^\circ \text{ kJ/r} = -254$	ATP/r = 3
6. $C_6H_{12}O_6 + 2 H_2O \longrightarrow 2 C_2H_5OH + 2 HCO_3^- + 2 H^+$	$\Delta G'^\circ \text{ kJ/r} = -225$	ATP/r = 2
7. $C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2 CH_3CHOHCOO^- + 2 H^+$	$\Delta G'^\circ \text{ kJ/r} = -198$	ATP/r = 2

Sumber : Verstraete, W. H., 1991

Asam propionat ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^-$) merupakan intermediat yang jelek, pada tingkat lebih dari 1 g/l pada pH mendekati netral dapat menghentikan aktifitas bakteri. Pembentukannya biasanya terjadi di bawah kondisi terbentuknya H_2 (lihat reaksi 2 pada tabel 2.2.). Metoda untuk mengurangi aktifitas bakteri propionat adalah dengan menambahkan sulfat sebagai elektron akseptor. Dalam hal ini bakteri pengurang sulfat menghalangi bakteri propionat untuk membentuk H_2 tetapi lebih mudah untuk membentuk H_2S .

Tabel berikut memperlihatkan konsentrasi inhibitor dari beberapa asam karboksilik, termasuk diantaranya propionat.

Tabel 2.3. Konsentrasi inhibitor dari beberapa asam karboksilik

Produk	pH	Konsentrasi (mg/l)
HCOO^-	5,0 - 6,0	100 - 1000
CH_3COO^-	4,0 - 5,0	5000 - 10000
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^-$	5,0 - 6,0	1000
$\text{CH}_3\text{CHOHCOO}^-$	5,0 - 6,0	5000 - 10000

Sumber : Verstraete, W. H., 1991

2.2.2. Bakteri Methanogenic

Kelompok mikroorganisme ini mengubah asam organik yang dibentuk oleh kelompok pertama menjadi metan dan karbondioksida. Bakteri yang melakukan konversi ini bersifat sangat anaerobik dan disebut juga sebagai bakteri pembentuk

methan. Tabel 2.4. menampilkan beberapa spesies bakteri pembentuk metan dan komponen organik yang digunakan.

Tabel 2.4. Bakteri methanogenic

Bakteri	Substrat	Hasil
<i>Methanobacterium formicum</i>	CO H ₂ + CO ₂ Format	CH ₄
<i>M. mobilis</i>	H ₂ + CO ₂ Format	CH ₄
<i>M. propionicum</i>	Propionat	CO + asetat ^a
<i>M. ruminantium</i>	Format H ₂ + CO ₂	CH ₄
<i>M. sohngeniei</i>	Asetat butirat	CH ₄ + CO ₂
<i>M. suboxydans</i>	Kaproat & butirat	Propionat & asetat ^a
<i>Methanococcus mazei</i>	Asetat & butirat	CH ₄ + CO ₂
<i>M. vannielii</i>	H ₂ + CO ₂ Format	CH ₄
<i>Methanosarcina barkeri</i>	H ₂ + CO ₂ Menthanol Asetat	CH ₄ CH ₄ CH ₄ + CO ₂
<i>M. methanica</i>	Asetat Butirat	CH ₄ + CO ₂

^a Asetat atau propionat diubah menjadi CH₄ dalam 2 tahap proses

Sumber : Price, E. C. & Chermisinoff, 1961

Bakteri terpenting dari kelompok bakteri methanogenic adalah bakteri yang melakukan penguraian terhadap asam asetat dan propionat. Bakteri ini memiliki tingkat pertumbuhan yang

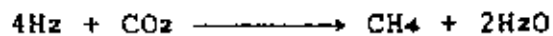
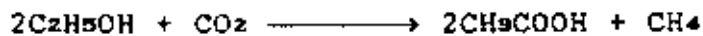
sangat lambat; sebagai akibatnya, metabolisme bakteri ini sering dianggap sebagai pembatas dalam pengolahan anaerobik. Stabilisasi buangan yang sebenarnya terjadi pada tahap kedua, yaitu dengan adanya konversi asam organik menjadi metan dan karbon dioksida.

Dengan melihat mekanisme khusus dalam pembentukan metan, ada dua jalur yang mungkin muncul, tergantung pada kondisi substrat awal. Bakteri methanogenic dapat menggunakan tiga kategori substrat sebagai berikut :

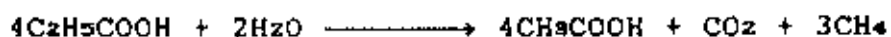
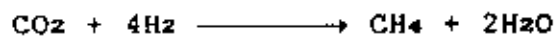
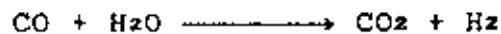
1. Asam lemak rendah dengan enam atau lebih atom karbon (format, asetat, propionat, butirrat, valerat, kaproat).
2. Normal alkohol dan iso alkohol yang terdiri dari satu sampai lima atom karbon (methanol, ethanol, propanol, butanol, pentanol).
3. Tiga gas organik (hidrogen, karbon monoksida dan karbon dioksida).

Dua mekanisme yang terlibat dapat digambarkan dengan mempertimbangkan persamaan berikut. Pertama, melibatkan substrat seperti ethanol, butirrat dan hidrogen, metan dihasilkan dari oksidasi substrat dan dari reduksi karbon dioksida di atmosfer. Kedua, melibatkan substrat seperti asetat dan propionat, metan dihasilkan dari reduksi karbon dioksida yang terbentuk selama oksidasi substrat.

Reduksi karbon dioksida di atmosfer :



Reduksi karbon dioksida yang dibentuk dari reaksi :



Sebagai tambahan, banyak bakteri anaerobik dan fakultatif lainnya yang menggunakan berbagai jenis ion anorganik yang ada dalam lumpur. *Desulfovibrio* melakukan reduksi ion sulfat SO_4^{2-} menjadi ion sulfida S^{2-} . Bakteri lainnya mereduksi nitrat NO_3^- menjadi gas nitrogen N_2 (denitrifikasi).

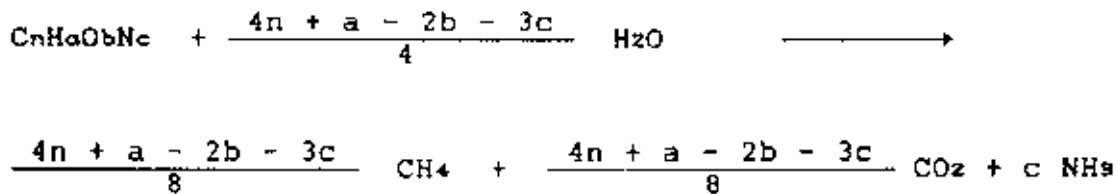
Untuk mendapatkan sistem pengolahan anaerobik yang melakukan stabilisasi secara efisien, bakteri nonmethanogenic dan methanogenic harus berada dalam kondisi keseimbangan dinamis. Untuk mendapatkan dan memelihara kondisi seperti ini, kandungan reaktor harus bebas dari oksigen terlarut dan konsentrasi konstituen penghambat seperti logam berat dan

sulfida. Juga pH harus berada dalam range 6,6 - 7,6. Alkalinitas yang cukup harus ada untuk memastikan pH tidak sampai turun di bawah 6,2, karena bakteri methan tidak dapat berfungsi di bawah pH ini. Jumlah nutrisi yang mencukupi, seperti nitrogen dan phosphor juga harus ada agar pertumbuhan komunitas biologis tidak terganggu.

2.3. Produksi Biogas

Biogas merupakan gas yang dapat terbakar dari hasil fermentasi bahan organik yang berasal dari daun-daunan, kotoran hewan / manusia dan lain-lain limbah organik yang berasal dari buangan industri oleh bakteri anaerobik. Gas-gas yang terkandung dalam biogas terdiri dari metan (60 - 70%), karbondioksida plus hidrogen sulfida (40 - 30%), dan beberapa gas lain dalam jumlah yang sangat kecil. Metan murni mempunyai sifat tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau, akan tetapi bila terdapat sejumlah hidrogen sulfida, akan tercium bau seperti telur busuk.

Secara teoritis, proses pembentukan metan mengikuti hukum Stoikiometri. Tetapi kenyataannya, hal tersebut sulit terjadi karena ada bagian dari bahan organik yang tidak dapat diuraikan dalam kondisi atau jangka waktu yang direncanakan. Jumlah metan yang dihasilkan dapat dihitung berdasarkan rumus *Buswell*, berikut :



Biasanya pembentukan metan terjadi dari campuran substrat organik yang tidak diketahui komposisinya. Pendekatan yang paling tepat adalah dengan menentukan jumlah oksigen yang diperlukan untuk oksidasi sempurna zat organik menjadi CO_2 secara kimia. Untuk menentukan nilai ini dapat dilakukan dengan uji *Chemical Oxygen Demand (COD)*, yaitu dengan mengoksidasi zat organik dalam air dengan $K_2Cr_2O_7$.

Jumlah metan yang dilepaskan selama proses anaerobik dapat diperkirakan dari reaksi sebagai berikut :



Jadi 1 mol metan (16 gr) ekuivalen dengan 2 mol COD (64 gr), atau 1/64 mol CH_4 ekuivalen dengan 1 gr COD. Volume metan yang dihasilkan setiap 1 gr COD dapat ditentukan dengan mengingat pada suhu dan tekanan standar ($0^\circ C$, 1 atm), 1 mol gas = 22,4 l. Maka :

$$1/64 \text{ mol } CH_4 = 22,4/64 = 0,35 \text{ l } CH_4 \text{ atau}$$

$$1 \text{ gr COD} = 0,35 \text{ l } CH_4$$

Oleh sebab itu untuk menentukan banyaknya metan yang dihasilkan dapat dilakukan dengan menentukan nilai COD dan dengan menggunakan persamaan di atas.

Yang harus diingat adalah prosedur COD mengoksidasi komponen sulfur (SO_3^{2-} , R-SH , S^{2-} , ...) menjadi sulfat. Komponen-komponen ini termasuk nilai COD, tetapi tidak ikut dalam pembentukan metana oleh bakteri. Jadi untuk air buangan yang banyak mengandung sulfur, nilai COD harus dikoreksi oleh sulfur.

Jika jumlah zat organik kering (volatile solid) diketahui, maka perkiraannya menjadi :

$$\begin{aligned} 1 \text{ gr zat organik kering} &\approx 1 \text{ gr volatile solids (VS)} \\ &\approx 1 \text{ gr COD} = 0,350 \text{ l CH}_4 \approx 0,5 \text{ l biogas (70\% CH}_4\text{)} \end{aligned}$$

Nilai BOD_5^{20} menandakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme aerobik untuk menguraikan zat organik. Nilai BOD menunjukkan berapa banyak zat organik yang benar-benar biodegradable. Berdasarkan nilai BOD_5^{20} produksi metana dapat diperkirakan :

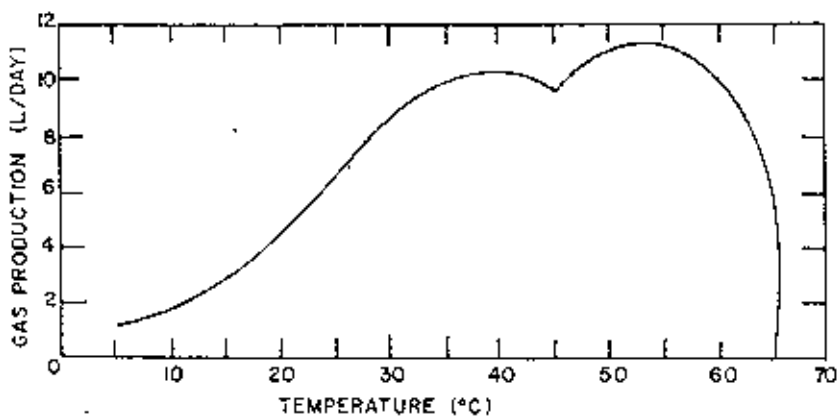
$$\begin{aligned} 1 \text{ gr BOD}_5^{20} &\approx 1,50 \text{ gr biodegradable COD} \\ &\approx 1,50 \times 0,350 \text{ l} = 0,53 \text{ l CH}_4 \end{aligned}$$

2.4. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Anaerobik

Beberapa faktor lingkungan seperti suhu, pH dan kehadiran nutrisi dapat menghambat atau menunjang beberapa parameter, misalnya produksi gas. Pada sub bab ini akan dijelaskan pengaruh-pengaruh tersebut.

2.4.1. Temperatur

Penguraian zat organik dan produksi gas dapat terjadi pada daerah suhu antara 4 - 60°C. Jika daerah suhu efektif dijaga, maka fluktuasi proses yang terjadi akan kecil. Kurva tingkat produksi gas terhadap suhu dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.3. Pengaruh temperatur pada produksi gas

Sumber : Price, E. C. & Cheremisinoff, 1981

Meskipun pada umumnya proses anaerobik dilakukan pada daerah suhu mesophilic (30 - 40°C), proses pembentukan methan dapat terjadi pada suhu serendah 4°C. Seperti terlihat pada gambar di atas, pengaruh kenaikan suhu pada daerah 4 - 25°C besar. Tingkat produksi gas berubah 100 - 400 % untuk setiap kenaikan suhu 12°C.

Perubahan suhu sangat berpengaruh terhadap bakteri

methanogenic. Fluktuasi beberapa derajat dapat diterima, tetapi biasanya lebih baik dioperasikan pada suhu lebih rendah yang konstan, daripada suhu tinggi sepanjang siang hari dan jauh lebih rendah pada malam hari ($> 5^{\circ}\text{C}$).

Daerah suhu optimum untuk bakteri methanogenic adalah $30 - 40^{\circ}\text{C}$ (mesophilic) dan $50 - 60^{\circ}\text{C}$ (thermophilic). Tetapi lebih baik jika dioperasikan pada daerah mesophilic, karena pada daerah thermophilic, mikroorganisma thermophilic sensitif.

2.4.2. pH

2.4.2.1. Hidrolisis - Fermentatif

Mikroorganisma hidrolisis - fermentatif dapat aktif asalkan pada $\text{pH} > 4,5$. Pada digesti dua fasa, pH fasa pertama harus dikontrol pada nilai yang memungkinkan metabolisme kedua berjalan secara optimal. Hal ini dapat dilakukan dengan penambahan NaOH , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ atau HCl .

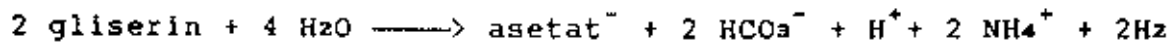
Pada air buangan yang mengandung karbohidrat tinggi, hidrolisis fermentatif akan menghasilkan asam organik dan jika pH tidak dikontrol akan turun sampai tingkat pK_a asam yang terbentuk (misal asam laktat $\text{pK}_a = 3,86$ pada 25°C , asam butirat $\text{pK}_a = 4,82$ pada 25°C).

Jika protein diuraikan, hasil hidrolisanya tidak hanya asam organik saja tetapi juga NH_3 .

Reaksinya menjadi :



Contoh :



Dalam hal ini, terbentuk buffer asetat⁻, NH₄CO₃, gliserin yang difermentasi akan memberikan pH akhir sekitar 6,5.

Pada beberapa tangki asidifikasi, hydrogenotrophic methanogens akan tumbuh dengan cepat karena produksi hidrogen dalam jumlah yang banyak oleh proses fermentasi. Dalam hal ini, (H⁺ + HCO₃⁻) dikonsumsi oleh bakteri tersebut, dengan demikian dapat mengurangi penurunan pH lebih lanjut.

2.4.2.2. Digesti Methan

pH optimal untuk methanogenesis antara 6,8 - 7,6. Pada pH sedikit asam, *Methanosarcina* lebih sesuai daripada spesies *Methanotrix*. Faktor-faktor penting yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut :

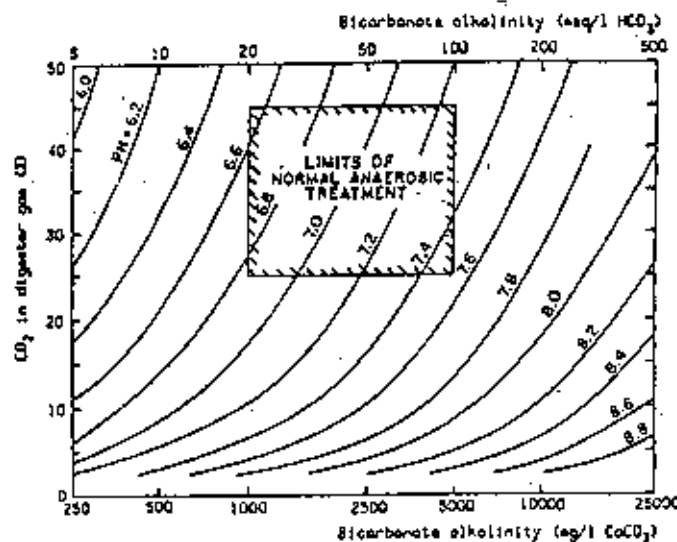
a. pH reaktor methan harus dijaga > 6,5.

pH yang lebih rendah akan mengganggu methanogenesis. Jika menjadi asam karena over loading, dapat ditambahkan soda kaustik, sodium karbonat atau kapur. Karena asam yang tidak terpisahkan lebih bersifat toksik, disarankan jika terjadi pengasaman, kenaikan pH sampai 8,0 - 8,5 diper-

bolehkan.

b. pH harus dijaga tetap konstan.

Perubahan yang kecil dalam range pH 6,5 - 8,5 yang seharusnya tidak mempengaruhi kelangsungan hidup organisme, menjadi sangat mempengaruhi pertumbuhan dan pemeliharaan methanogenic. Kapasitas buffer cairan merupakan hal yang utama. Pada pH 7 untuk kebanyakan air buangan, buffer pH terdiri dari sistem $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-/\text{NH}_4^+$. Untuk menjamin kondisi pH yang stabil selama digesti, (HCO_3^-) alkalinitas harus dalam range 25 - 100 meq/l. Dalam digester, anion HCO_3^- dinetralkan terutama oleh kation Na^+ dan NH_4^+ . Apabila kapasitas buffer tidak mencukupi, dapat ditambahkan NaHCO_3 atau Na_2CO_3 . Gambar 2.4 menunjukkan hubungan antara alkalinitas dengan pH dan CO_2 .

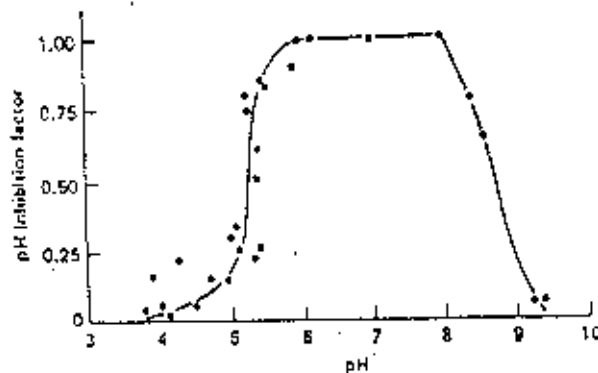


Gambar 2.4. Hubungan antara pH dan konsentrasi bikarbonat pada suhu sekitar 35°C

Sumber : after Verstraete, W. H., 1991

c. pH optimal untuk methanogenic adalah 7,0.

Karena itu penambahan alkali terhadap influen harus disesuaikan sehingga pH reaktor 7,0. pH efluen akan tergantung pada alkalinitas, yang lebih tinggi daripada pH dalam reaktor, sehingga menunjukkan bahwa pH efluen tidak mewakili pH dalam reaktor. Bakteri methanogenic sangat sensitif terhadap perubahan pH. Gambar 2.5 menunjukkan bahwa rate fermentasi methanogenic relatif konstan pada range pH 6,0 - 8,5, tetapi terjadi penurunan drastis bila pH berada di luar range tersebut.



Gambar 2.5. Pengaruh pH pada rate fermentasi bakteri methan

Sumber : after Benefield, L. D. & Randall, C. W., 1980

2.4.3. Nutrien

Berbagai nutrien makro (C,N,P,S) dan nutrien mikro (Mg, K, Mn, Ca, Co) harus ada dalam reaktor anaerobik dengan konsentrasi yang cukup sehingga tidak membatasi tingkat

penguraian. Penambahan beberapa nutrisi tertentu selain nutrisi makro sering kali diperlukan untuk mendukung pertumbuhan dan aktifitas mikroorganisma.

Menurut R. Mitchell, 1974, sel mikroba mengandung rasio C : N : P : S sekitar 100 : 10 : 1 : 1. Ketidakhadiran atau kekurangan elemen-elemen tersebut dapat menghambat rate pertumbuhan.

Menurut Speece dan McCarty, 1964, formula empiris untuk biomassa anaerobik adalah $C_5H_8O_2N$, sehingga rasio C:N untuk anaerobik dianggap sama dengan 5 : 1.

David Stuckey, 1983, menyimpulkan dari beberapa literatur bahwa rasio C : N optimum biasanya 30. Tetapi itu bukan nilai mutlak, karena konsentrasi C : N optimum ditentukan juga oleh jenis limbah yang akan diolah.

Menurut Verstraete, 1991, jika kandungan $NH_4^+ - N$ atau Kj - N tidak mencapai 20 mg N/gr COD, sangat disarankan untuk mengontrol kandungan $NH_4^+ - N$ di efluen reaktor. Selama masih ada 5 - 10 mg/l sisa $NH_4^+ - N$ yang terdeteksi, nitrogen tidak kekurangan. Jika N terbatas (misalnya ditunjukkan dengan rasio COD : N lebih besar dari 100 : 1,25), dapat ditambahkan urea ($CO(NH_2)_2$), NH_4Cl atau $(NH_4)_2SO_4$.

Akan halnya dengan phosphor, bagi sebagian besar air

buangan segar, phosphor berada dalam jumlah yang cukup. Masih menurut Verstraete, rasio COD : P = 100 : 0,25 merupakan kandungan minimal yang harus dimiliki oleh air buangan yang

penguraian. Penambahan beberapa nutrisi tertentu selain nutrisi makro sering kali diperlukan untuk mendukung pertumbuhan dan aktifitas mikroorganisma.

Menurut R. Mitchell, 1974, sel mikroba mengandung rasio C : N : P : S sekitar 100 : 10 : 1 : 1. Ketidakhadiran atau kekurangan elemen-elemen tersebut dapat menghambat rate pertumbuhan.

Menurut Speece dan McCarty, 1964, formula empiris untuk biomassa anaerobik adalah $C_5H_8O_2N$, sehingga rasio C:N untuk anaerobik dianggap sama dengan 5 : 1.

David Stuckey, 1983, menyimpulkan dari beberapa literatur bahwa rasio C : N optimum biasanya 30. Tetapi itu bukan nilai mutlak, karena konsentrasi C : N optimum ditentukan juga oleh jenis limbah yang akan diolah.

Menurut Verstraete, 1991, jika kandungan $NH_4^+ - N$ atau KJ - N tidak mencapai 20 mg N/gr COD, sangat disarankan untuk mengontrol kandungan $NH_4^+ - N$ di efluen reaktor. Selama masih ada 5 - 10 mg/l sisa $NH_4^+ - N$ yang terdeteksi, nitrogen tidak kekurangan. Jika N terbatas (misalnya ditunjukkan dengan rasio COD : N lebih besar dari 100 : 1,25), dapat ditambahkan urea ($CO(NH_2)_2$), NH_4Cl atau $(NH_4)_2SO_4$.

Akan halnya dengan phosphor, bagi sebagian besar air buangan segar, phosphor berada dalam jumlah yang cukup. Masih menurut Verstraete, rasio COD : P = 100 : 0,25 merupakan kandungan minimal yang harus dimiliki oleh air buangan yang

dipakai sebagai substrat.

Rasio C : N dan C : P digunakan jika berhubungan dengan substansi yang dapat difermentasi serta keberadaan nitrogen dan phosphorus. Lignin dalam bubur kayu, residu selulosa dan buangan sayuran serta komponen-komponen lainnya, sulit diuraikan oleh mikroba.

Pada konsentrasi 9 mmol, semua komponen sulfur anorganik, selain sulfat, menghambat degradasi selulosa dan asosiasi methanogenesis yang diurut sebagai berikut :

thiosulfat > sulfit > sulfida > hidrogen sulfida

Bakteri pengguna sulfat bersaing dengan bakteri methan untuk memakai hidrogen. Kemampuan organisme pengguna sulfat dalam menggunakan hidrogen untuk menghalangi methanogenic telah dibuktikan, tetapi bakteri pereduksi sulfat maupun bakteri penghasil methan dapat terjadi dengan kehadiran sisa hidrogen.

Beberapa komponen organik dapat menghambat digesti anaerobik. Termasuk pelarut organik, alkohol dan asam lemak rantai panjang pada konsentrasi tinggi.

Pengaruh struktur molekul petrokimia telah diteliti dan diketahui bahwa adanya chloro, aldehid dan ikatan ganda menunjukkan toksisitasnya. Beberapa komponen yang bersifat toksik terhadap kultur yang tidak diaklimatisasi, dapat didegradasi setelah periode aklimatisasi.

2.4.4. Kation

Semua kation dapat menghasilkan efek toksik pada berbagai organisme jika konsentrasinya cukup tinggi, tetapi tingkat toksisitasnya relatif. Biasanya toksisitas meningkat sesuai dengan valensi dan berat atom. Hasil studi pengaruh kation pada proses anaerobik menunjukkan bahwa bakteri methan memberikan respon yang sama terhadap kation seperti organisme lainnya, tetapi lebih sensitif terhadap efek toksik kation daripada bakteri pembentuk asam.

Ada tiga jenis pengaruh kation, yaitu : toksisitas, antagonisma dan stimulasi. Toksisitas dapat bervariasi dengan kehadiran kation lainnya. Kemampuan sebuah kation untuk mempengaruhi (menaikkan atau menurunkan) toksisitas yang lainnya disebut antagonisma. Konsentrasi kation yang rendah mempunyai efek stimulasi pada metabolisme organisme (khususnya bakteri penghasil methan). Stimulasi terjadi pada konsentrasi mendekati 1,5 kali tingkat toksik.

Kation berperan dalam metabolisme semua organisme, yaitu berlaku sebagai aktifator berbagai jenis enzim. Interaksi antara kation dan enzim, dapat menghasilkan stimulasi jika aktifator logam yang tepat bersatu dengan enzim, tetapi toksisitas yang dihasilkan jika enzim bersatu dengan kation yang salah. Antagonisma dapat digambarkan sebagai kompetisi singkat antara kation yang berfungsi dan yang tidak untuk enzim yang bersangkutan.

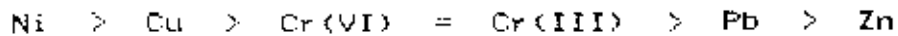
Pengaruh kation dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pengaruh kation dalam pengolahan anaerobik merupakan fungsi dari jenis dan konsentrasi kation,
2. Konsentrasi optimum ion 0,01 M untuk monovalen : Na, K, NH_4 ; 0,005 M untuk ion divalen Ca, Mg,
3. Konsentrasi di atas atau di bawah optimum menghasilkan efisiensi lebih kecil dari maksimum,
4. Penghambatan yang disebabkan oleh konsentrasi yang berlebihan dari salah satu ion dapat diantagonis (diminimalkan) dengan penambahan konsentrasi optimum ion lain,
5. Antagonisma maksimal dari kation penghambat dapat diperoleh dengan penambahan konsentrasi optimum beberapa kation lainnya.

Logam berat bersifat lebih toksik daripada ion logam ringan, meskipun pada konsentrasi sangat rendah, seperti tembaga dan raksa yang dapat menghasilkan efek stimulasi. Toksisitas logam berat dalam digesti anaerobik tergantung pada bentuk kimianya, misalnya logam berat dalam bentuk endapan sulfida berpengaruh dalam sistem biologis dan konsentrasi logam berat toksik yang tinggi dapat ditoleransi jika terdapat sulfida dalam jumlah yang cukup untuk bertindak sebagai presipitat.

Terlihat bahwa bakteri dapat mengkonsentrasi ion logam berat yang larut sekitar dinding sel yang bergabung dengan protein dan efek toksiknya berhubungan dengan

pemakaian maksimum logam oleh bakteri. Penurunan toksisitas berdasarkan berat atau molar :



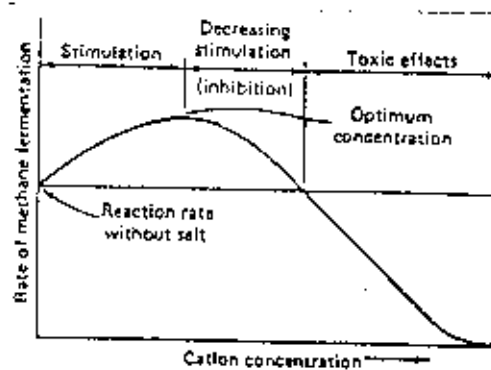
Tingkat penghambatan didefinisikan sebagai waktu ketika terjadi pengurangan produksi gas yang terlihat dengan jelas. Batas toksik ditentukan jika terjadi pengurangan produksi total gas sebesar 70 % dari nilai rata-rata.

Cara untuk mengurangi pengaruh logam berat pada digesti anaerobik termasuk penambahan anion untuk presipitasi seperti sulfida dan operasi pada pH maksimum yang diijinkan, karena kebanyakan logam berat hidroksida hanya sedikit yang terlarut.

Tabel 2.5. Batas toksisitas logam berat untuk digesti anaerobik

	Step Feed		Pulse Feed Batas toksis (mg/l)
	Konsentrasi inhibit (mg/l)	Batas toksik (mg/l)	
Cr (III)	130	260	< 200
Cr (VI)	110	420	< 180
Cu	40	70	< 50
Ni	10	30	> 30
Cd	-	> 20	> 10
Pb	340	> 340	> 250
Zn	400	600	< 1700

Sumber : Price, E. C. & Cheremisinoff, 1981



Gambar 2.6. Pengaruh kation pada fermentasi metan

Sumber : after Benefield, L.D. & Randall, C.W., 1980

2.4.5. Pembatas Rate Proses

Pengganggu proses anaerobik dapat berasal dari adanya komponen-komponen atau proses penguraianya sendiri. Komponen penghambat yang bersifat toksik dapat berupa komponen-komponen dari influen' atau hasil aktifitas metabolisme bakteri pengurai, termasuk diantaranya sulfida, asam lemak volatil, ammonia, alkali dan logam berat. Penghambatan terutama terjadi pada aktifitas bakteri methanogenic, sehingga menghambat proses methanogenesis.

Ada empat langkah pembatas rate yang potensial dalam konversi selulosa menjadi metan secara anaerobik :

1. Konversi selulosa menjadi gula terlarut oleh enzim ekstra-seluler,
2. Pembentukan asam volatil oleh bakteri pembentuk asam,
3. Konversi dari asam volatil menjadi CO_2 dan CH_4 oleh bakteri metan, dan

4. Transfer hasil reaksi yang terlarut dari fasa cairan ke gas.

Langkah ketiga sering dianggap sebagai pembatas rate, karena pengurangan waktu retensi rata-rata mikrobial akan menaikkan konsentrasi asam volatil. Menurut teori, penambahan konsentrasi ini terjadi karena metabolisme yang lambat dan menyebabkan rate reproduksi bakteri methanogenic yang lambat.

2.5. Kinetika Proses

Lawrence dan Mc Carty mempelajari perubahan asam lemak volatil, asetat, propionat dan butirrat, menjadi methan dan karbondioksida. Langkah ini merupakan pembatas rate dalam proses anaerobik, yang berarti akan menggambarkan kinetika seluruh proses.

Rate pertumbuhan mikroorganisma murni dalam aliran kontinyu dengan sistem teraduk sempurna dengan pengolahan anaerobik yang dapat digambarkan dengan :

$$\frac{dX}{dt} = a \left(\frac{dF}{dt} \right) - bX \dots\dots\dots (1)$$

dimana,

dX/dt = rate pertumbuhan mikroorganisma murni per unit volume

dF/dt = rate penggunaan buangan per unit volume digester (massa/volume waktu)

X = konsentrasi mikroorganisma (massa/volume)

- a = koefisien yield pertumbuhan (waktu^{-1})
 b = koefisien decay mikroorganisma (waktu^{-1})

Rate penggunaan substrat (dF/dt) berhubungan dengan konsentrasi substrat oleh persamaan Michaelis-Menten :

$$\frac{dF}{dt} = \frac{k \times S}{K_s + S} \dots\dots\dots(2)$$

dimana,

- S = konsentrasi substrat dalam reaktor (massa/volume)
 k = rate penggunaan buangan maksimum per unit berat mikroorganisma yang terjadi pada buangan konsentrasi tinggi (waktu^{-1})
 K_s = koefisien setengah kecepatan, sama dengan konsentrasi air buangan ketika dF/dt = satu setengah kali rate maksimum, k, (massa/volume)

Dari persamaan 1 dan 2 :

$$\frac{(dX/dt)}{X} = \frac{a k S}{K_s + S} - b \dots\dots\dots(3)$$

Jumlah $(dX/dt)/X$ sama dengan rate pertumbuhan murni per unit berat mikroorganisma per unit waktu dan direncanakan sebagai rate pertumbuhan specific murni (μ).

Untuk mencapai kondisi steady, mikroorganisma harus dibuang dari sistem pada rate yang sama dengan produksinya. Oleh sebab itu, rate pertumbuhan specific murni tiap hari ($\Delta S/\Delta T/M$) merupakan kebalikan dari waktu tinggal biological solid, SRT :

$$SRT = \frac{X}{(\Delta X/\Delta T)_T} \dots\dots\dots (4)$$

dimana,

X = berat total zat padat mikrobial aktif dalam sistem
(massa)

$(\Delta X/\Delta T)_T$ = jumlah total zat padat mikrobial aktif yang
dibuang tiap hari (massa/waktu)

SRT merupakan waktu retensi rata-rata mikroorganisma dalam sistem dan sama dengan konsep umur lumpur aktif. SRT dapat bervariasi tergantung pada waktu retensi hidrolis (HRT) jika mikroorganisma diresirkulasi ke reaktor.

Kesalahan proses karena kesalahan kinetika akan terjadi jika SRT dikurangi menjadi sebuah nilai dimana mikroorganisma dibuang dari sistem pada rate yang lebih besar daripada rate pertumbuhan spesifik. Jika konsentrasi substrat cukup tinggi dan lebih besar dari K_s , maka nilai minimum SRT (SRT_m) untuk menjaga nilai pengurasan terhadap proses mikrobial dapat dinyatakan sebagai :

$$\frac{1}{SRT_m} = \mu_k - b \dots\dots\dots (5)$$

Kebalikan SRT_m adalah μ_m , rate pertumbuhan spesifik proses mikroorganisma yang terbatas, yang mana berhubungan dengan penggandaan atau waktu pembiakan yang digunakan untuk pembentukan karakteristik spesies bakteri, adalah sebagai berikut :

$$T_d = \frac{0,693}{\mu_{\max}} \dots\dots\dots (6)$$

dimana,

T_d = waktu yang dibutuhkan untuk penggandaan massa mikrobial pada konsentrasi substrat yang terbatas (waktu)

Nilai SRT_m untuk sistem digesti anaerobik dari 2 - 10 hari. Sebagai perbandingan, nilai SRT_m untuk sistem aerobik biasanya 0,5 hari atau kurang.

Konstanta a , b , k dan K_s dapat dihitung dari data percobaan. Koefisien pertumbuhan dapat ditentukan dari bentuk linear persamaan 1 :

$$\frac{1}{HRT} = aU - b \dots\dots\dots (7)$$

dimana, $U = dS/dt/X$

dan bentuk linear persamaan 2 dapat digunakan untuk menghitung k dan K_s :

$$\frac{1}{U} = \frac{K_s}{k} \left(\frac{1}{S} \right) + \frac{1}{k} \dots\dots\dots (8)$$

Persamaan (8) sama dengan plot Lineweaver-Burke terhadap persamaan Michaelis-Mentens yang digunakan oleh ahli biokimia dalam studi kinetika enzim :

$$\frac{1}{V} = \frac{1}{V_{\max}} + \frac{K_m}{V_{\max}} \left(\frac{1}{S} \right) \dots\dots\dots (9)$$

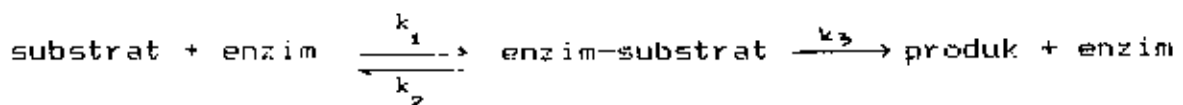
dimana,

V = rate reaksi

V_{maks} = rate kecepatan maksimum ketika enzim jenuh oleh substrat

(S) = konsentrasi substrat

K_m = konstanta Michaelis-Menten; ini sama dengan konsentrasi substrat saat rate reaksi setengah V_{maks} dan pengukuran stabilitas pada saat enzim substrat kompleks



$$K_m = \frac{k_1 + k_2}{k_1}$$

Data percobaan menegaskan untuk fermentasi metan dari asam lemak volatil, hubungan kinetika kondisi steady antara biological solid retention time atau kebalikannya, rate pertumbuhan spesifik murni dan konsentrasi asam volatil efluen dapat digambarkan dengan model matematika :

$$\frac{1}{SRT} = \mu = \frac{\mu_{maks}}{K_s + S} - b \dots\dots\dots (10)$$

Nilai-nilai SRT_m dapat digunakan sebagai referensi untuk menentukan nilai SRT pada disain dan operasi. Nilai SRT_m dari 2,7 - 10 hari berhubungan dengan waktu penggandaan, T_d : 1,9 - 6,9 hari, nilai yang lebih besar dibanding dengan organisme aerobik, yang T_d -nya hanya 17 menit untuk *E. coli* pada 37°C dan untuk lumpur aktif, $T_d = 2,3$ jam pada 30°C .

Tabel 2.6, Koefisien kinetika untuk penggunaan substrat dan pertumbuhan biologis

substrat	suhu	K*	Ks	a**	b	SRTm
(°C) (mg/mg-hari) (mg/l) (mg/mg) (hari ⁻¹) (hari)						
Asam asetat	20	3,6	2130	0,04	0,015	7,8
Lumpur						
buangan kota						10
Asam asetat	25	5,0	869	0,05	0,011	4,2
Asam propionat		7,8	613	0,051	0,04	2,8
Lumpur						
buangan kota						7,5
buangan susu						
sinthesis		0,38	24	0,37	0,07	4,7
Asam asetat	30	5,1	333	0,054	0,037	4,2
Asam asetat	35	8,7	154	0,04	0,019	3,1
Asam propionat		7,7	32	0,042	0,01	3,2
Asam butirat		8,3	5	0,047	0,027	2,7
Lumpur						
buangan kota						2,8
Buangan						
pengapakan		0,32	5,5	0,76	0,17	

* Menunjukkan sebagai COD yang dikonversi menjadi metan per mg solid biologis
 ** Menunjukkan mg solid biologis yang diproduksi per mg COD yang dikonversi menjadi metan

Sumber : Price, E.C & Chermakhoff, 1981

Ada dua faktor yang berpengaruh terhadap variasi koefisien mikrobiologis yang ada tergantung pada substrat dan pada beberapa kasus, juga tergantung pada suhu. Contohnya ialah empat spesies yang diketahui mewakili tiga bentuk bakteri yang dihidangkan, *Bacillus*, *Cocci* dan *Spirilla*, dapat menggunakan asetat, dapat dipakai untuk mempelajari dinamika populasi yang dihidangkan pada 35°C, *Bacillus* (*Methanobacterium*

soehgenis) merupakan bakteri dominan dan *sarcinae* (*Sarcina methanica*) merupakan populasi minoritas. Jumlah relatif *sarcinae* berkurang pada SRT kurang dari 9 hari. Pada 25°C, *sarcinae* merupakan bakteri utama. Oleh sebab itu, baik biological solids retention time dan suhu mempengaruhi komposisi populasi kultur campuran dan stabilitas sistem.

Menurut teori, variasi k karena perubahan suhu dapat menyebabkan dominasi populasi. Suhu tergantung pada koefisien setengah kecepatan, K_s , dapat digambarkan dengan persamaan :

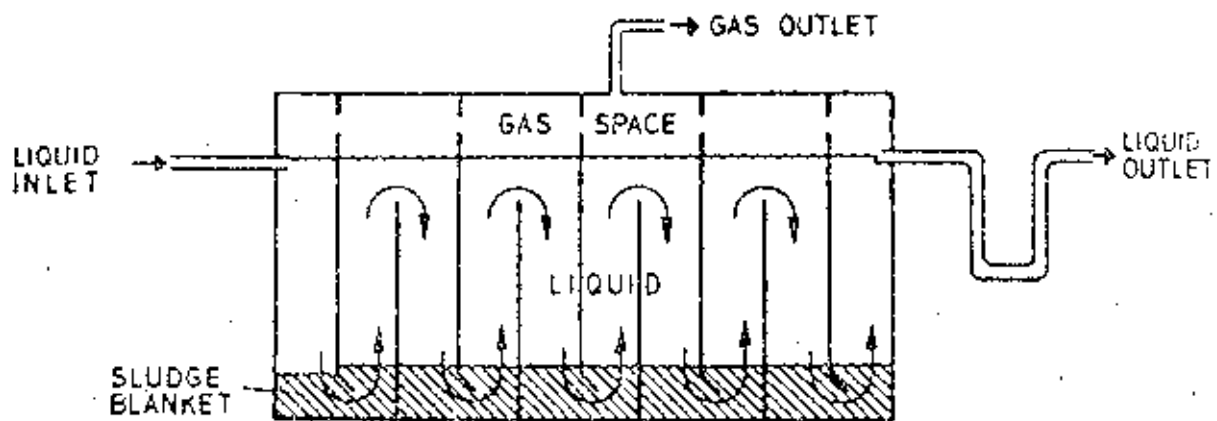
$$\log \frac{(K_s)_2}{(K_s)_1} = 6980 \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \dots\dots\dots (11)$$

2.6. Anaerobic Baffled Reactor

Desain ini, termasuk sangat baru, yang dikembangkan oleh Bachman dan McCarty di Stanford University. Reaktor berbentuk tangki rektangular sederhana, bentuk fisiknya sama dengan septic tank dan dibagi dalam 5 - 6 kompartemen yang sama oleh dinding dari atap dan dasar tangki. Liquid yang dialirkan menuju ke atas dan ke bawah antara dinding dan menuju ke atas lagi melewati sludge anaerobic blanket dan seterusnya hingga melewati 5 - 6 kompartemen. Air buangan akan terjadi kontak intim dengan biomassa aktif, karena kebanyakan dari biomassa tinggal dalam reaktor.

Suatu penelitian dengan air buangan berbentuk larutan

yang berisi 7,1 gr/l COD dan waktu detensi 1 hari pada 35°C, didapatkan efisiensi removal COD sebesar 80%, dengan produksi gas volumetrik 2,9. Uji yang sama telah dilakukan dengan air buangan yang diencerkan (0,48 gr/l COD) dan performance yang sama diperoleh pada suhu 25°C. Menurut bentuk fisiknya, jenis reaktor ini dapat mengolah buangan dengan zat padat yang cukup tinggi (misalnya buangan rumah tangga).



Gambar 2.7. Anaerobic Baffled Reactor

Sumber : Stuckey, C. David, 1983

2.7. Tahu dan Proses Pembuatannya

Tahu adalah hasil olahan dari ekstrak kedelai. Dimana ekstraknya diperlakukan dengan Kalsium Sulfat atau batu tahu, atau bisa juga dengan asam asetat (asam cuka). Karena tingginya kadar air dan protein di dalam tahu, maka mudah terjadi pembusukan oleh mikroorganisme pembusuk.

Adapun proses pembuatan tahu adalah sebagai berikut :

- Merendam kedelai dalam air bersih selama 3 jam untuk memudahkan pengaliran,
- Merendam kembali kedelai kembali selama 30 - 45 menit untuk menghilangkan kulit dan kotoran lainnya,
- Melakukan pemecahan dan pengaliran kedelai dengan perendaman air selama 10 menit,
- Mendidihkan kedelai yang sudah halus selama 30 - 45 menit, dan dilakukan perendaman air secara bertahap 8 - 10 kali jumlah kedelai.

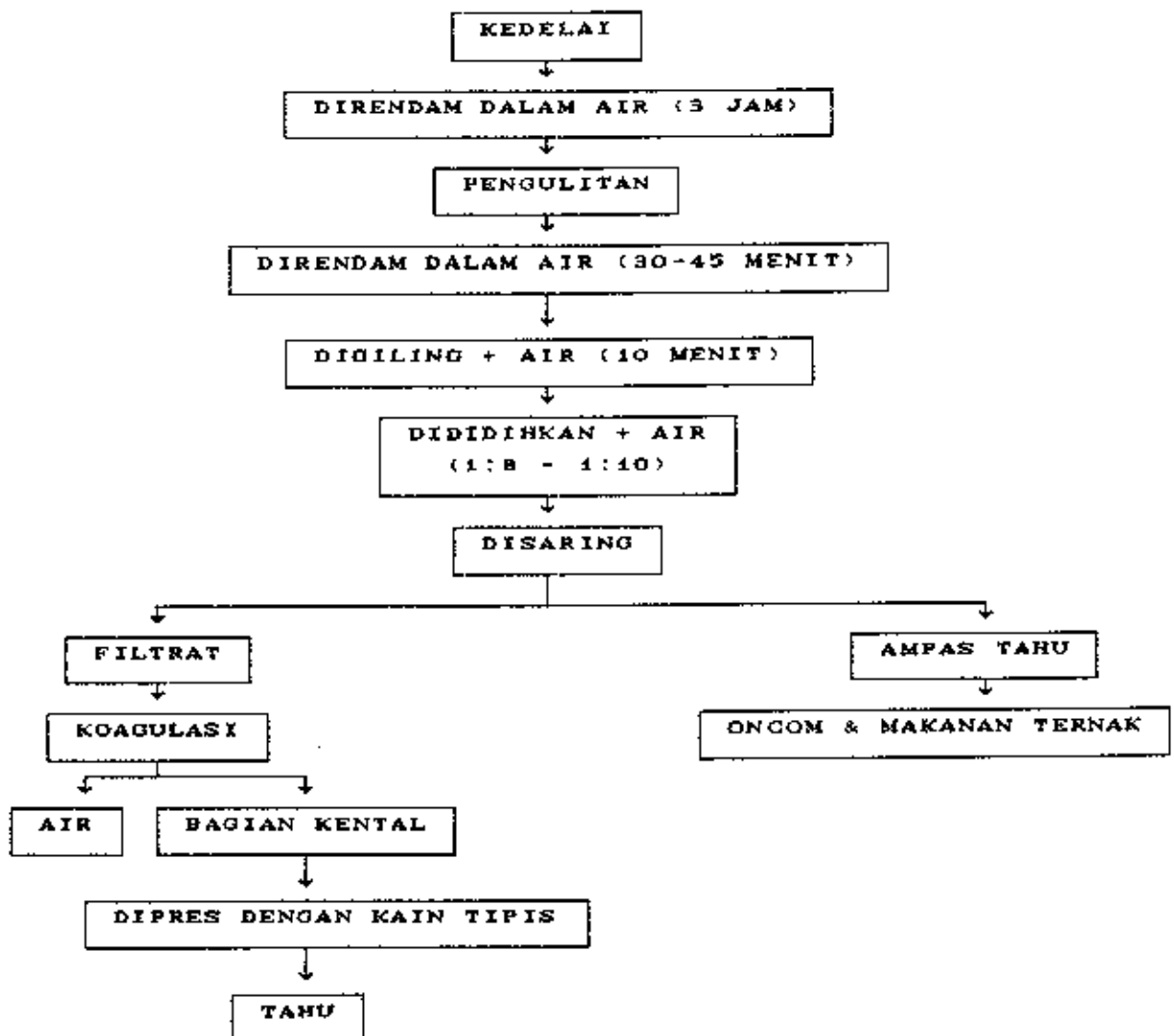
- Menyaring kedelai yang telah dididihkan, ampasnya dibuat oncom dan makanan ternak dan filtratnya dikoagulasikan dengan asam cuka, dibungkus dengan kain tipis dan dipres untuk meniriskan air dan mendapatkan tahu,
- Membungkus hasil koagulasi tersebut dengan kain tipis, lalu dipres untuk mendapatkan dan meniriskan airnya,
- Setelah tiris dan padat, tahu dipotong kecil-kecil dan siap dipasarkan.

Gambaran lebih jelas cara pembuatan tahu dapat dilihat pada gambar 2.8.

Pabrik tahu Tirta Buana yang dipakai sebagai tempat pengambilan sampel, setiap harinya membutuhkan air sebanyak 100 m³/hari. Sedangkan air limbah yang dikeluarkan berkisar 70 m³/hari.

Dari 1,5 ton kebutuhan kedelai yang diolah setiap

hari oleh pabrik ini, menghasilkan tahu sebanyak 100 kaleng serta ampas tahu sebanyak 50 kaleng. Dimana setiap kaleng berukuran 50 cm x 35 cm x 35 cm atau bervolume 61,25 m³. Dengan demikian produksi tahu per harinya adalah 8,125 m³.



Gambar 2.8. Diagram alir proses pembuatan tahu

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Umum

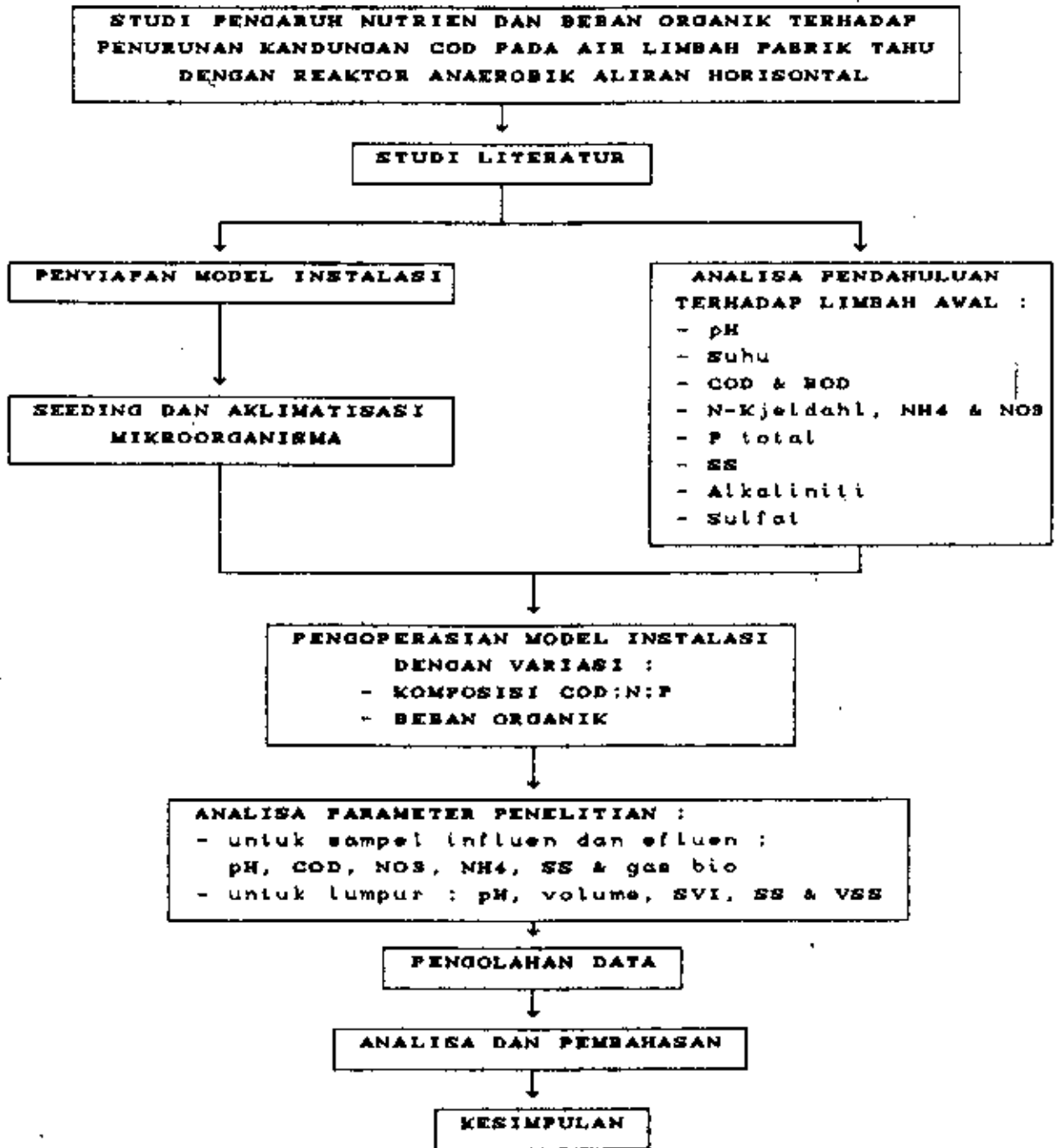
Dalam bab metodologi ini, akan dibahas mengenai segala sesuatu yang berhubungan dengan pelaksanaan penelitian Tugas Akhir, yaitu :

- Kerangka penelitian, yang membahas mengenai dasar-dasar pemikiran untuk mencapai tujuan penelitian,
- Model pengolahan air buangan yang digunakan,
- Air buangan yang akan diolah,
- Kondisi operasional percobaan yang dilakukan, dan
- Prosedur pelaksanaan, yang membahas mengenai hal-hal yang dilaksanakan pada saat penelitian.

3.2. Kerangka Penelitian

Untuk mengetahui dasar pemikiran pada penelitian yang akan dilakukan, dibuat suatu kerangka penelitian.

Penelitian ini didahului dengan analisa awal terhadap parameter-parameter tertentu, yang selanjutnya akan dipakai sebagai acuan untuk menentukan variabel yang dipakai pada penelitian ini, seperti gambar 3.1. berikut ini :



Gambar 3.1. Diagram alir kerangka penelitian

3.3. Model Pengolah Air Buangan

Pengolahan air buangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa pengolahan secara anaerobik dengan reaktor aliran horisontal. Reaktor pengolah berupa tangki persegi panjang yang terbagi atas 3 kompartemen, yang masing - masing dipisahkan oleh dinding penyekat (baffle).

Pada kompartemen I, dipakai pipa inlet berbentuk tee, sehingga tidak terjadi aliran pendek pada air buangan yang masuk. Sedangkan pada kompartemen II dan III, baffle atas tidak terletak di tengah kompartemen, tetapi dekat dengan baffle bawah (berjarak 2 cm). Diharapkan kontak yang terjadi antara air buangan yang masuk dan lumpur akan lebih baik dibandingkan bila baffle atas diletakkan di tengah - tengah kompartemen.

Adapun dimensi reaktor yang terbuat dari flexiglass ini, adalah sebagai berikut :

- Panjang : 41,4 cm
- Lebar : 11,0 cm
- Tinggi : 15,2 cm

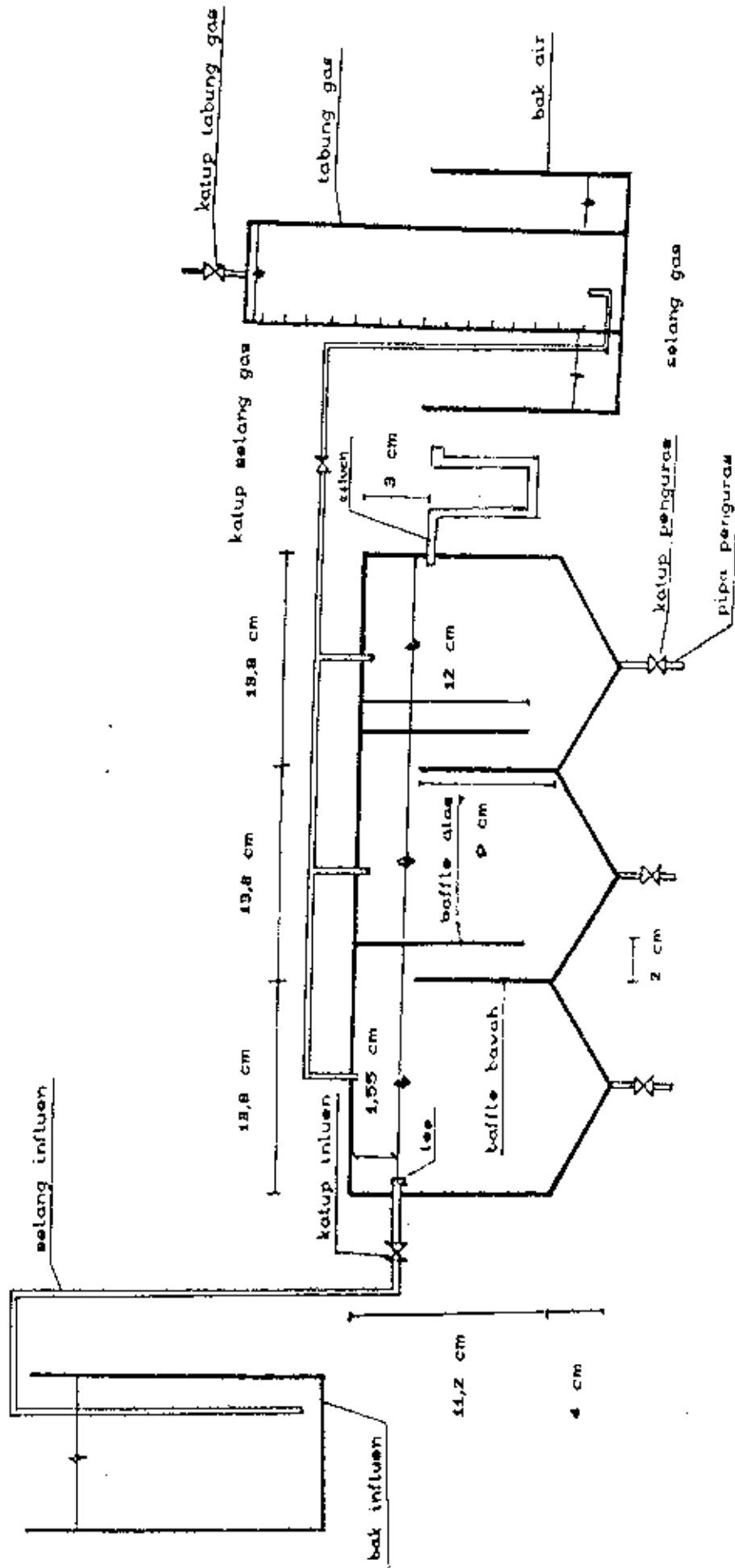
Pada pipa outlet diberi selang yang dibentuk huruf U, yang berfungsi untuk memperkecil kemungkinan gas bio yang keluar bersama dengan efluen. Setiap kompartemen dilengkapi dengan selang gas yang dihubungkan dengan sebuah tabung penangkap gas dan pada ruang lumpur diberi selang penguras.

Untuk bak influen, dipakai jerigen yang bervolume 10 l. Pengaliran influen dilakukan secara gravitasi dengan menggunakan efek vakum pada selang berdiameter 3/8 inci, sehingga diharapkan debit influen dapat dijaga konstan.

Pada penelitian ini dipakai 2 reaktor untuk mempercepat penelitian, yaitu reaktor I dan reaktor II. Untuk lebih jelasnya, model instalasi pengolah yang memiliki volume 5 liter ini dapat dilihat pada gambar 3.2.

3.4. Air Buangan yang Diolah

Pada penelitian ini, air buangan yang digunakan berasal dari air buangan pabrik tahu di Jalan Kalidami Surabaya. Air buangan ini memiliki kandungan COD rata-rata sebesar 6500 mg/l, Nitrat sekitar 43 mg/l dan Ptotal sekitar 13 mg/l. Dari konsentrasi awal tersebut, dapat ditentukan penambahan unsur N dan P agar diperoleh rasio COD:N:P seperti yang diinginkan. Sebagai sumber nitrogen digunakan urea atau $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ dan KH_2PO_4 sebagai sumber phosphor. Untuk menjaga pH limbah yang dimasukkan ke dalam reaktor mendekati netral, ditambahkan larutan NaOH.



Gambar 3.2. Reaktor anaerobik yang dipakai penelitian.

3.5. Kondisi Operasional Percobaan

Pada penelitian ini, reaktor dioperasikan dengan memvariasikan komposisi COD:N:P dan beban organik. Dari 3 rasio penambahan nutrisi, diambil komposisi nutrisi yang memberikan efisiensi penurunan COD tertinggi, lalu dipakai untuk variasi beban organik dengan konsentrasi COD influen sebagai variabel bebas. Dan dilanjutkan dengan variasi waktu detensi dengan konsentrasi COD influen yang memberikan penurunan bahan organik yang tertinggi.

Beban organik yang dipakai untuk variasi komposisi COD:N:P adalah $2 \text{ kg COD} / \text{m}^3 \cdot \text{hari}$ dengan konsentrasi COD influen $\pm 2000 \text{ mg/l}$ dan waktu detensi 24 jam. Untuk variasi konsentrasi COD influen dipakai : 4000 mg/l dan 6000 mg/l . Sedangkan untuk variasi waktu detensi dipakai : 18 jam, 12 jam, 9 jam dan 6 jam.

Selain dilakukan penelitian dengan penambahan nutrisi terhadap limbah asli, dilakukan juga penelitian dengan kondisi sampel tanpa penambahan nutrisi (kondisi eksisting).

Pada saat melakukan variasi komposisi COD:N:P, kedua reaktor diperlakukan sebagai berikut :

□ Percobaan I :

- * Reaktor I digunakan untuk air buangan eksisting
- * Reaktor II digunakan untuk air buangan dengan variasi
COD:N:P = 100:5:1

a Percobaan II :

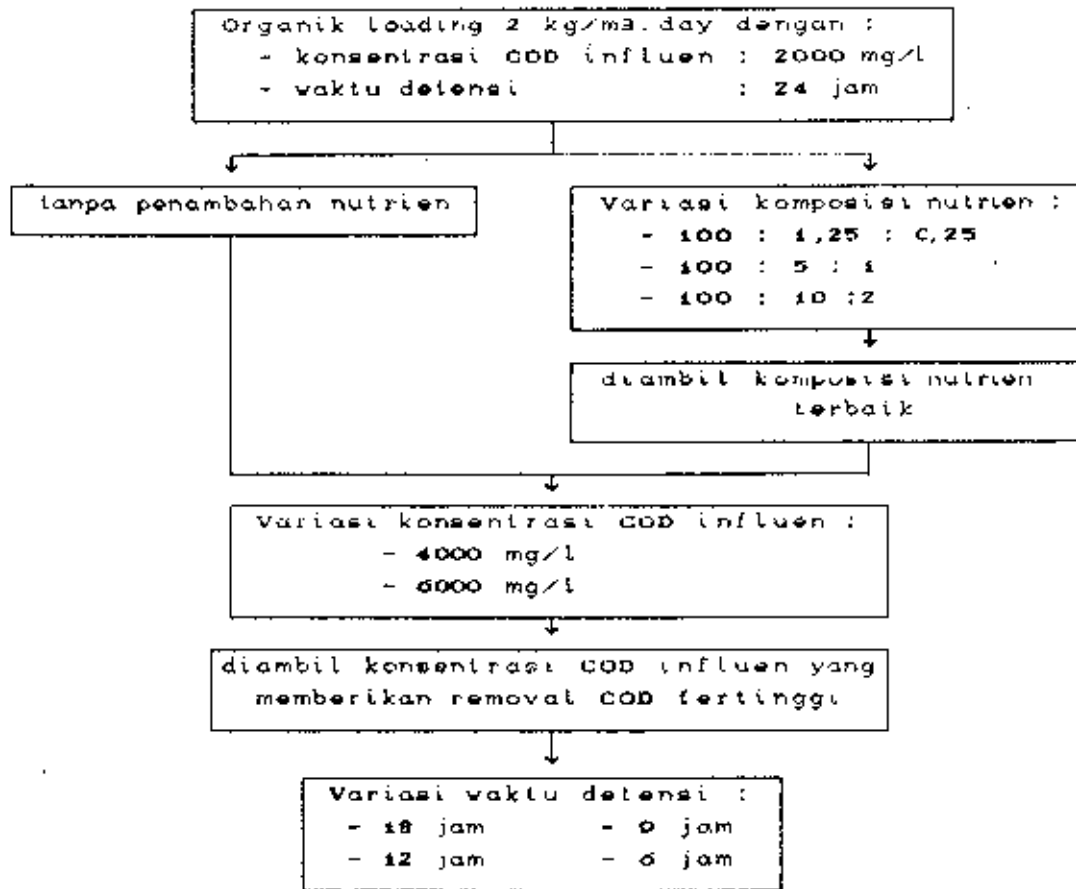
* Reaktor I digunakan untuk air buangan dengan variasi
 $COD:N:P = 100:1,25:0,25$

* Reaktor II digunakan untuk air buangan dengan variasi
 $COD:N:P = 100:10:2$

Sedangkan pada saat melakukan variasi konsentrasi COD influen dan waktu detensi, kedua reaktor diperlakukan dengan beban organik sama. Reaktor I digunakan untuk air limbah eksisting dan reaktor II digunakan untuk air buangan dengan variasi COD:N:P yang memberikan removal COD tertinggi.

Pada setiap pergantian variasi penelitian, kedua reaktor dikondisikan sama. Yaitu dengan cara mencampur lumpur dari kedua reaktor dan dibagi dua, lalu masing - masing dibagi lagi menjadi 3 bagian dan dimasukkan ke setiap kompartemen. Pembebanan mulai dilakukan bila kedua reaktor berada dalam kondisi sama, artinya jumlah gas total yang keluar sudah relatif sama. Pada saat penyamaan kondisi ini, beban organik yang diberikan sama dengan variabel beban organik yang akan dilakukan.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.3. berikut ini :



Gambar 3.3. Diagram alir kondisi pengoperasian reaktor anaerobik

3.6. Prosedur Pelaksanaan

3.6.1. Pembenihan (Seeding) dan Aklimatisasi

Untuk keperluan proses dalam pengolahan, diperlukan lumpur sebagai sumber mikroorganisme. Lalu dilakukan pembenihan untuk memperoleh jumlah massa biologis yang cukup untuk berperan dalam proses penurunan konsentrasi organik

dalam instalasi pengolahan ABBR. Dalam penelitian ini, lumpur yang digunakan diambil dari Sungai Brantas Surabaya. Lumpur sungai ini dipilih karena diperkirakan memiliki mikroba fakultatif dan anaerobik yang cukup banyak.

Pembenihan dilakukan secara batch terlebih dahulu, yaitu dengan mengaduk \pm 100 ml lumpur dan 2 spatula ekstrak beef untuk mempercepat pertumbuhan mikroba dalam erlenmeyer yang tertutup rapat selama 24 jam. Lalu dibiarkan sampai timbul gelembung gas yang menandakan adanya aktifitas mikroba anaerobik.

Setelah itu lumpur dimasukkan ke setiap kompartemen sebanyak 10 ml, dan mulai dilakukan aklimatisasi dengan menggunakan larutan glukosa berkonsentrasi 500 mg/l sebagai sumber substrat sampai proses anaerobik berjalan baik. Yang dimaksud baik di sini ialah gas total yang keluar sebanding dengan volume influen dan terjadi penurunan COD minimal 60 %. Bila kondisi ini telah tercapai, dilakukan penggantian substrat dengan air limbah tahu dengan konsentrasi awal 500 mg/l, lalu 750 mg/l, 1000 mg/l dan 2000 mg/l. Aklimatisasi dihentikan setelah reaktor anaerobik mampu menerima beban COD influen sebesar 2000 mg/l.

Selama proses aklimatisasi berlangsung, dilakukan penambahan nutrisi pada sampel influen dengan perbandingan COD:N:P = 100:1,25:0,25 dan pengamatan terhadap pH influen dan efluen dilakukan terus menerus.

3.6.2. Pembebanan

Pembebanan dilakukan dengan menggunakan air limbah pabrik tahu dengan perbandingan komposisi nutrisi yang telah ditentukan sebelumnya. Air buangan yang diolah merupakan substrat bagi mikroorganisme untuk keperluan respirasi dan sintesa. Komposisi perbandingan COD:N:P air buangan pada penelitian ini dibuat 3 variasi, seperti terlihat pada gambar 3.3. Perhitungan selengkapnya mengenai komposisi tersebut dapat dilihat pada lampiran.

3.6.3. Parameter yang Dikontrol

Selama operasi pengolahan air limbah berjalan, perlu dilakukan pengaturan atau pemeliharaan terhadap beberapa parameter untuk mendapatkan kondisi operasional yang diinginkan. Adapun parameter-parameter tersebut adalah : konsentrasi influen, waktu detensi (t_d), pH dan temperatur.

3.6.3.1. Konsentrasi Influen

Konsentrasi influen awal dalam penelitian ini dibuat tetap, yaitu ± 2000 mg/l. Karena limbah awal memiliki kandungan COD sebesar ± 6500 mg/l, maka sebelum dimasukkan ke dalam reaktor diencerkan terlebih dahulu dengan air.

3.6.3.2. Waktu Detensi

Waktu detensi (t_d) dibuat bervariasi, sehingga di-

dapatkan variasi beban organik. Misalkan untuk waktu detensi 24 jam, maka :

$$\begin{aligned} t_d &= \frac{\text{COD influen}}{\text{beban organik}} \\ \text{beban organik} &= \frac{2000 \text{ mg/l}}{1 \text{ hari}} \\ &= 2 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{hari} \end{aligned}$$

Volume reaktor dijaga konstan 5 l, sehingga debit influen yang masuk (Q_{inf}) sebesar :

$$= \frac{5000 \text{ ml}}{24 \text{ jam}} \times \frac{1 \text{ jam}}{60 \text{ menit}} = 3,47 \text{ ml/menit.}$$

Untuk mempertahankan waktu detensi, dilakukan pengontrolan debit yang dilakukan tiap 4 jam sekali dengan menggunakan stop watch dan gelas ukur. Dan untuk mempermudah pengontrolan debit, yang dicek adalah debit efluennya.

3.6.3.3. pH

pH adalah suatu besaran yang menyatakan sifat asam atau basa dari larutan/suspensi. Pada percobaan penelitian ini, pH influen dijaga antara 6,0 - 7,0, yang merupakan pH optimal untuk pengolahan anaerobik. Karena limbah asli memiliki pH sekitar 4 - 6, maka perlu ditambahkan NaOH. Pengukuran pH dilakukan setiap hari dengan pH meter.

3.6.3.4. Temperatur

Temperatur influen pada percobaan laboratorium dijaga antara 25 - 27°C. Dan temperatur sekitar reaktor

dijaga antara 30 - 35°C dengan memakai pemanasan dari lampu. Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan termometer.

3.6.4. Parameter-parameter yang Dianalisa

Parameter-parameter yang dianalisa dalam penelitian ini adalah :

3.6.4.1. pH

Pengukuran pH dilakukan setiap hari pada titik influen dan efluen.

3.6.4.2. COD (Chemical Oxygen Demand)

COD didefinisikan sebagai oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik secara kimiawi. Pemeriksaan COD merupakan satu cara untuk menentukan kadar zat organik dalam air buangan secara kimiawi. Pada prinsipnya zat organik dapat dioksidasi oleh oksidator kuat, seperti KMnO_4 dan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Dalam penelitian ini, hanya dilakukan pemeriksaan COD dengan menggunakan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dengan pertimbangan bahwa pemeriksaan ini memberikan hasil yang lebih akurat. Pemeriksaan COD dilakukan dengan metoda Bichromat Reflux sesuai dengan Standard Method.

3.6.4.3. Nitrogen

Dalam analisa nitrogen ini, senyawa-senyawa yang dianalisa meliputi : ammonium (NH_4) dan nitrat (NO_3) untuk

membuktikan adanya denitrifikasi dalam proses anaerobik.

o N-ammonium

Pemeriksaan ammonium dilakukan dengan metode Nessler. Sampel yang mengandung ammonium, bila ditambah garam seignette dan larutan nessler akan membentuk senyawa kompleks yang berwarna kuning oranye, sehingga dapat dideteksi dengan spektrofotometer pada panjang gelombang ($= \lambda$) 420 nm. Pembacaan skala Absorbance pada spektrofotometer diplotkan pada kurva standard ammonium, sehingga diperoleh konsentrasi NH_4^+ dalam sampel.

o N-Nitrat

Pemeriksaan nitrat dilakukan dengan menggunakan metoda Brucine. Sampel yang mengandung nitrat dalam suasana asam, setelah penambahan H_2SO_4 dengan brucine sulfat dan asam sulfanilat akan membentuk senyawa kompleks yang berwarna kuning. Warna yang timbul dideteksi dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 420 nm.

3.6.4.4. SS (Suspended Solid) dan VSS (Volatile Suspended Solid)

Jumlah mikroorganisme yang berperan aktif dalam proses pengolahan ini dinyatakan dalam bentuk VSS. SS (Suspended Solid) terdiri dari VSS (Volatile Suspended Solid) dan FSS (Fixed Suspended Solid). Untuk mengetahui kandungan VSS dalam suspensi dapat dilakukan pemeriksaan SS dan FSS.

o SS

Massa biologis dengan volume tertentu yang tertinggal dalam

kertas saring yang telah diketahui beratnya diuapkan pada temperatur 105°C selama 1 jam. Kemudian dilakukan penimbangan sehingga didapat kandungan SS dalam suspensi yang diperiksa.

□ VSS

Jumlah VSS diperoleh dengan memanaskan SS pada temperatur 550°C selama 2 jam.

Kertas saring yang digunakan adalah kertas saring Whatman 40.

3.6.4.5. Volume Lumpur

Volume lumpur diukur dengan cara mengendapkan larutan tersuspensi dalam kerucut Imhoff selama 1 jam.

3.6.4.6. SVI (Sludge Volume Index)

Sludge Volume Index (SVI) didapatkan dari rumus berikut :

$$\text{SVI} = \frac{\text{Volume lumpur}}{\text{Suspended Solid}} \quad (\text{ml/gr})$$

3.6.4.7. Volume Gas

Pemeriksaan volume gas yang dihasilkan, dilakukan setiap kali penggantian limbah pada bak influen. Volume gas yang dihasilkan pada percobaan dapat dilihat secara visual dari penurunan muka air pada tabung penangkap gas. Agar gas CO_2 lepas ke udara, dilakukan penambahan HCl pada air di dalam tabung penangkap gas sampai pH asam. Sebagai indikator, digunakan metil red yang bekerja pada range pH 4,8 – 6,0.

Pengisian air pada tabung penangkap gas dilakukan setiap kali

pengisian influen, sampai penuh (angka 0) agar memudahkan pengamatan.

3.6.5. Sampling

Sampling dilakukan setelah perlakuan (termasuk

penyamaan kondisi) berjalan selama 25 hari, diperkirakan saat itu sistem dalam reaktor sudah berada pada kondisi steady. Keadaan steady state ini tercapai bila kemampuan pengolahan dari sistem telah mempunyai nilai yang konstan. Hal ini ditunjukkan dengan volume gas dan fluktuasi removal CO_2 yang dihasilkan relatif tetap atau memiliki fluktuasi kurang dari 10 %.

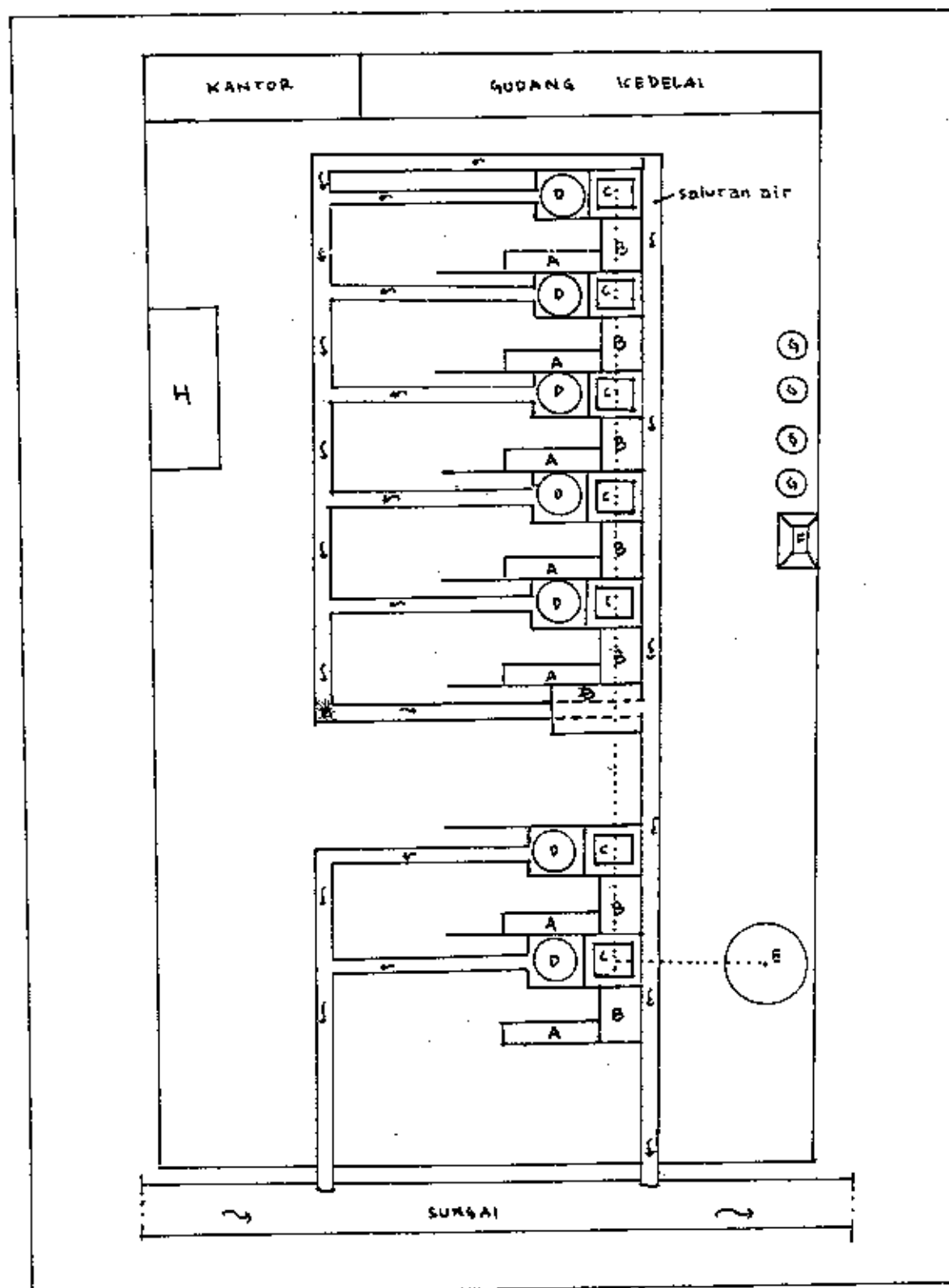
Sampling dilakukan pada 4 titik, yaitu influen (I), tangki anaerobik (II), effluen (III) dan tubing penangkap gas (IV). Parameter yang diperiksa pada titik (I) dan (III) meliputi pH, CO_2 , NH_4 , NO_3 , dan SS. Pada titik (II) dilakukan pengamatan pH, volume lumpur, MLSS, MLVSS dan SVI pada tiap kompartemen. Sedangkan pada titik (IV) dilakukan pengamatan terhadap volume gas bio yang terbentuk.

Untuk memudahkan analisa pada titik (II), seluruh isi reaktor dikeluarkan dan dianalisa berdasarkan urutan kompartemen. Setelah itu, seluruh lumpur dicampur, dibagi 6 (enam) bagian dan dimasukkan ke setiap kompartemen.

Pemeriksaan terhadap pH, debit influen dan gas bio dilakukan secara rutin.

3.6.6. Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan setiap hari, saat pabrik tahu membuang limbahnya dari air bekas pembuatan tahu. Yang membedakan air bekas pembuatan tahu dengan air bekas perendaman kedelai ialah suhu yang cukup tinggi ($30 - 40^{\circ}\text{C}$) serta warnanya yang keruh, kadang seperti putih susu. Adapun titik pengambilan sampel dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.4. Letak pengambilan sampel

Keterangan gambar 3.4 :

- A = bak asam cuka
- B = bak air bersih
- C = bak pemanasan kedelai yang telah digiling
- D = bak penyaringan dan pengentalan filtrasi kedelai
- E = steamer
- F = mesin penggiling kedelai
- G = bak perendaman kedelai
- H = bak pembuangan ampas tahu
- * = titik pengambilan sampel

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Umum

Pada bab ini disajikan hasil penelitian dan pembahasan yang menyangkut variasi nutrisi dan beban organik terhadap penurunan bahan organik yang terjadi. Penelitian dilakukan dengan proses anaerobik, dimana gas yang dihasilkan, sebagai indikator terjadinya aktifitas mikroorganisme anaerobik.

Sebagai data awal untuk menunjang penelitian, dilakukan analisa terhadap sampel limbah awal. Dan didapatkan karakteristik air limbah pabrik tahu sebagai berikut :

- pH : 4,5 - 6,0
- Suhu : 30^o - 40^oC
- COD : 6500 mg/l
- BOD : 3900 mg/l
- BOD / COD : 0,6
- Alkalinitas : - CO₂ : 580 mg/l
 - HCO₃⁻ : 976 mg/l
- SO₄²⁻ : 207 mg/l
- NH₄⁺ : 17 mg/l
- N kjeldahl : 24 mg/l
- NO₃⁻ : 19 mg/l

HASIL PENELITIAN & PEMBAHASAN

- N Total : N kjeldahl + NO_3^- = 24 + 19 = 43 mg/l
- P Total : 13 mg/l
- SS : 1300 mg/l

Dari data di atas, dapat diambil perbandingan COD : N : P limbah awal, yaitu sebesar 100 : 0,66 : 0,2.

Telah diketahui bahwa pH merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap keseluruhan proses anaerobik. Untuk bakteri hidrolisa-fermentasi, dapat aktif pada kondisi pH > 4,5. Sedangkan bagi bakteri pembentuk metan mempunyai range pH optimal 6,8 - 7,8 (Verstraete, 1991).

Dari kenyataan tersebut, pada penelitian ini pH dipilih pada range yang memungkinkan kedua kelompok bakteri anaerobik tersebut dapat beraktifitas secara optimal. Karena proses asidifikasi dan metanasi terjadi dalam satu reaktor, tidak mungkin dioperasikan pada pH yang terlalu asam, karena akan semakin menurunkan pH reaktor setelah proses asidifikasi. Sebaliknya, tidak dikondisikan pada pH yang terlalu basa, karena proses hidrolisis fermentasi akan dipersulit. Oleh karena itu penulis menetapkan pH influen pada range pH 6,0 - 7,0.

Sedangkan suhu saat operasi ditetapkan antara 30 - 40 °C, karena merupakan range suhu optimum untuk methanogenesis.

Saat dilakukan variasi konsentrasi COD influen 4000 mg/l, mikroorganisme dalam reaktor mengalami shock loading

HASIL PENELITIAN & PEMBAHASAN

yang ditandai dengan menurunnya produksi gas (terlihat pada lampiran). Karena keterbatasan waktu, maka penulis memutuskan untuk langsung beralih pada variasi waktu detensi dengan konsentrasi COD influen 2000 mg/l.

Secara ringkas, perlakuan yang telah diberikan pada kedua reaktor ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 4.1. Perlakuan variabel penelitian pada reaktor anaerobik

Perlakuan ke-	Hari pengalihan ke-	Reaktor I	Reaktor II
0	-	Tahap aklimatisasi	Tahap aklimatisasi
1	1 - 25	Beban organik : 2 kg COD/m ³ .hari Waktu detensi : 24 jam COD influen : 2000 mg/l COD:N:P = 100:0,66:0,2	Beban organik : 2 kg COD/m ³ .hari Waktu detensi : 24 jam COD influen : 2000 mg/l COD:N:P = 100:5:1
2	26 - 50	Beban organik : 2 kg COD/m ³ .hari Waktu detensi : 24 jam COD influen : 2000 mg/l COD:N:P = 100:1,25:0,25	Beban organik : 2 kg COD/m ³ .hari Waktu detensi : 24 jam COD influen : 2000 mg/l COD:N:P = 100:10:2
3	51 - 75	Beban organik : 4 kg COD/m ³ .hari Waktu detensi : 24 jam COD influen : 4000 mg/l COD:N:P = 100:0,66:0,2	Beban organik : 4 kg COD/m ³ .hari Waktu detensi : 24 jam COD influen : 4000 mg/l COD:N:P optimum
4	76 - 100	Beban organik : 2,7 kg COD/m ³ .hari Waktu detensi : 18 jam COD influen : 2000 mg/l COD:N:P = 100:0,66:0,2	Beban organik : 2,7 kg COD/m ³ .hari Waktu detensi : 18 jam COD influen : 2000 mg/l COD:N:P optimum
5	101 - 125	Beban organik : 4 kg COD/m ³ .hari Waktu detensi : 12 jam COD influen : 2000 mg/l COD:N:P = 100:0,66:0,2	Beban organik : 4 kg COD/m ³ .hari Waktu detensi : 12 jam COD influen : 2000 mg/l COD:N:P optimum
6	126 - 150	Beban organik : 5,3 kg COD/m ³ .hari Waktu detensi : 9 jam COD influen : 2000 mg/l COD:N:P = 100:0,66:0,2	Beban organik : 5,3 kg COD/m ³ .hari Waktu detensi : 9 jam COD influen : 2000 mg/l COD:N:P optimum
7	151 - 175	Beban organik : 8 kg COD/m ³ .hari Waktu detensi : 6 jam COD influen : 2000 mg/l COD:N:P = 100:0,66:0,2	Beban organik : 8 kg COD/m ³ .hari Waktu detensi : 6 jam COD influen : 2000 mg/l COD:N:P optimum

4.2. Pengaruh Nutrien terhadap Penurunan Kandungan COD

Menurut R. Mitchell, 1974, sel mikroba mengandung rasio C:N:P:S sekitar 100:10:1:1. Oleh sebab itu, untuk aktifitas pertumbuhan mikroba, elemen-elemen ini harus ada dan mencukupi. Ketidakhadiran atau kekurangan dapat menghambat rate pertumbuhan.

Menurut Speece dan Mc Carty, 1964, formula empiris untuk biomassa anaerobik adalah $C_5H_8O_2N$, sehingga rasio C:N untuk proses anaerobik dapat dianggap sama dengan 5 : 1.

Sedangkan menurut Verstraete, 1991, jika kandungan NH_4^+-N atau Kj-N tidak mencapai 20 mg N/gr COD, sangat disarankan untuk mengontrol kandungan NH_4^+-N di efluen reaktor. Selama masih ada 5 - 10 mg/l sisa NH_4^+-N yang terdeteksi, nitrogen tidak kekurangan. Dalam hal N terbatas (terutama jika rasio COD:N lebih besar dari 100:1,25), dapat ditambahkan urea ($CO(NH_2)_2$), NH_4Cl atau $(NH_4)_2SO_4$.

Akan halnya dengan phosphor, bagi sebagian besar air buangan segar, phosphor berada dalam jumlah yang cukup. Tetapi perlu diperhatikan bahwa rasio COD:P = 100:0,25 adalah kandungan minimal yang harus dimiliki oleh air buangan yang dipakai sebagai substrat.

Air limbah pabrik tahu yang dipakai sebagai sampel, memiliki rasio COD:N:P = 100:0,66:0,2. Sehingga air buangan perlu diperkaya dengan nutrien N dan P.

Keberadaan nitrogen dalam proses anaerobik memiliki

dua keuntungan, yaitu menyediakan nutrisi untuk sintesa asam amino, enzim dan protoplasma, serta diubah dalam bentuk amoniak yang menetralkan asam volatile yang dihasilkan oleh bakteri fermentatif dan sekaligus mempertahankan kondisi pH netral.

Jadi penting untuk menyediakan nitrogen dalam jumlah yang cukup untuk mencegah kekurangan nutrisi (nitrogen terlalu sedikit) atau toksisitas amoniak (terlalu banyak nitrogen). Rasio C:N merupakan salah satu parameter untuk mengevaluasi efek yang terjadi dan untuk mendapatkan jumlah nitrogen yang optimal.

Tabel 4.2 berikut memperlihatkan data hasil penelitian dengan variasi nutrisi.

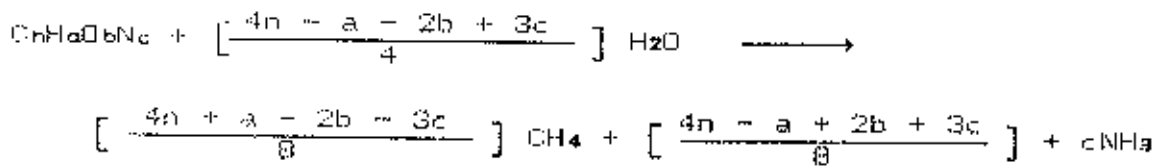
Tabel 4.7. Data hasil penelitian dengan variasi nutrisi

No.	Parameter	Satuan	Reaktor I			Reaktor II		
			Saat awal	100:0,66:0,2	100:1,25:0,25	Saat awal	100:5:1	100:10:2
1	Beban organik (kgCOD/m ³ .hari)		2	2	2	2	2	2
2	Hari pengamatan ke-		-	1-25	26-50	-	1-25	26-50
3	lama operasi	hari	45	25	25	25	25	25
4	COD : N		-	152	80	-	20	10
5	pH influen		-	6,53	6,08	-	6,79	6,40
	pH efluen		-	7,33	6,89	-	7,92	7,84
6	COD influen	mg/l	-	1931	2098	-	2069	1858
	COD efluen	mg/l	-	393	262	-	495	480
	Efisiensi removal	%	-	80	86	-	76	74
7	Volume gas total	ml/hari	-	1450	1750	-	1225	700
8	NH ₄ influen	mg/l	-	8	8	-	11	23
	NH ₄ efluen	mg/l	-	31	56	-	103	225
9	NO ₃ influen	mg/l	-	5	6	-	6	7
	NO ₃ efluen	mg/l	-	1	1	-	2	3
	Efisiensi removal	%	-	73	78	-	67	57
10	SS influen	mg/l	-	1134	1098	-	1204	1020
	SS efluen	mg/l	-	354	312	-	310	342
	Efisiensi removal	%	-	69	72	-	74	66

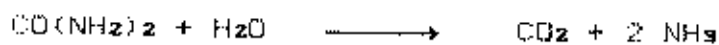
No.	Parameter	Satuan	Reaktor I			Reaktor II		
			Saat awal	100:0,66:0,2	100:1,25:0,25	Saat awal	100 : 5 : 1	100 : 10 : 2
II	Karakteristik lumpur :							
	a. pH							
	Kompartemen I		-	6.38	6.43	-	6.62	7.18
	Kompartemen II		-	6.42	6.45	-	6.72	7.20
	Kompartemen III		-	6.50	6.48	-	7.15	7.30
	b. MLSS							
	Kompartemen I	mg/l	735	758	1634	750	834	938
	Kompartemen II	mg/l	745	908	1595	920	1106	1180
	Kompartemen III	mg/l	860	1238	1853	875	1026	1146
	MLSS total	mg	3900	4857	6137	4242	4993	5440
	c. MLVSS							
	Kompartemen I	mg/l	257	546	1095	278	590	441
	Kompartemen II	mg/l	298	745	1182	460	722	525
	Kompartemen III	mg/l	422	1087	1024	463	674	412
	MLVSS total	mg	1628	3963	5468	2002	3477	2297
	d. Volume lumpur							
	Kompartemen I	ml	14	16	46	14	16	19
	Kompartemen II	ml	14	25	42	16	23	25
	Kompartemen III	ml	17	32	45	15	19	27
	Volume lumpur total	ml	45	73	133	45	58	71
	e. SVI							
	Kompartemen I	ml	19.05	20.83	28.15	18.67	19.18	20.26
	Kompartemen II	ml	18.79	27.53	26.33	17.39	20.80	21.19
	Kompartemen III	ml	19.77	25.85	27.22	17.14	18.52	23.56

Keterangan : * MLSS total = $\text{MLSS komp. I} + \text{MLSS komp. II} + \text{MLSS komp. III}$ \times 5 liter / 3
 * MLVSS total = $\text{MLVSS komp. I} + \text{MLVSS komp. II} + \text{MLVSS komp. III}$ \times 5 liter / 3
 * Volume lumpur total = $\text{Vol. lumpur komp. I} + \text{Vol. lumpur komp. II} + \text{Vol. lumpur komp. III}$

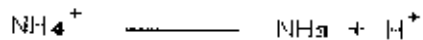
Penguraian urea yang ditambahkan pada air limbah awal, dapat didekati dengan rumus Buswell berikut :



Dimana urea ($CO(NH_2)_2$) memiliki nilai $n = 1$, $a = 4$, $b = 1$ dan $c = 2$, sehingga reaksi yang terjadi adalah :



Amoniak dapat menjadi NH_4^+ (ammonium) pada pH asam,



Ini menyebabkan kenaikan pada konsentrasi ammonium, seperti terlihat pada tabel 4.2.

Sedangkan KH_2PO_4 akan terurai menjadi PO_4 (pada penelitian ini tidak dianalisa).

Dalam proses biologis, jumlah lumpur merupakan wakil dari jumlah mikroorganisme yang menguraikan substrat. Pada penelitian ini, jumlah mikroorganisme ditentukan dengan konsentrasi SS dan VSS serta volume lumpur.

Karena tidak dilakukan pembuangan lumpur, maka terjadi pertambahan lumpur dari waktu ke waktu. Ini terlihat pada tabel 4.3 berikut :

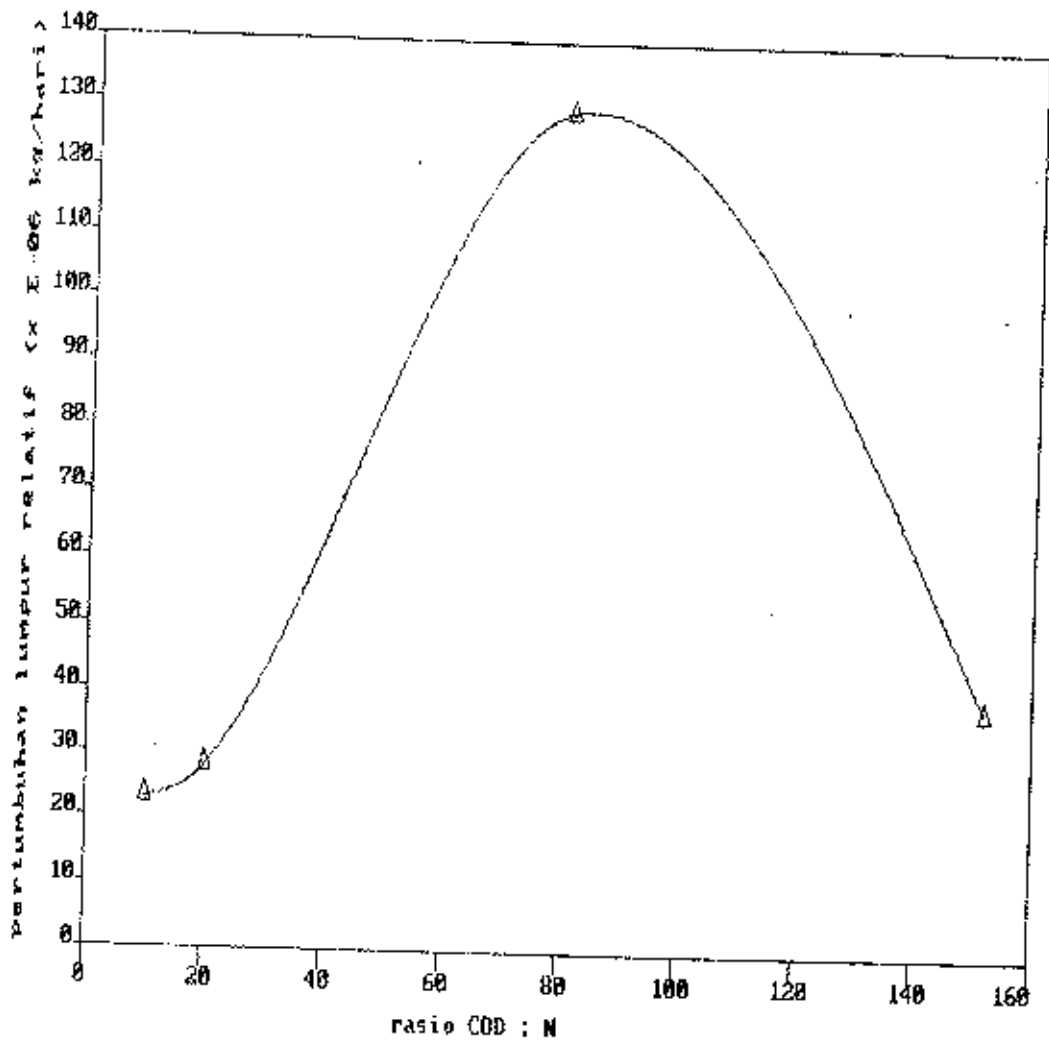
Tabel 4.3. Pertumbuhan Biomasse berdasarkan variasi nutrisi

No.	Parameter	Satuan	Reaktor I			Reaktor II		
			Saat awal	100:0,66:0,2	100:1,25:0,25	Saat awal	100 : 5 : 1	100 : 10 : 2
1	COD : N		-	162	80	-	20	10
2	Beban organik	(kgCOD/m ³ .hari)	-	2	2	-	2	2
3	Lama operasi	hari	45	25	25	45	25	25
4	Efisiensi removal COD	%	-	80	88	-	76	74
5	Volume gas total	ml/hari	-	1450	1750	-	1225	700
6	HLSS total	mg	3900	4857	8137	4242	4949	5440
	HLSS awal	mg	-	4900	-	-	4655	-
	Pertumbuhan lumpur relatif (x E-06)	kg/hari	-	38	129	-	28	23
7	Volume lumpur total	ml	45	75	139	45	58	71
	Volume lumpur awal (%)	ml	-	83	-	-	62	-
	Recepatan pertambahan lumpur relatif	ml/hari	-	1.12	2.80	-	0.52	0.36
8	HLVSS total	mg	1628	3963	5168	2032	3477	2297
9	µ/M		6.14	2.52	1.83	5.00	2.88	4.35

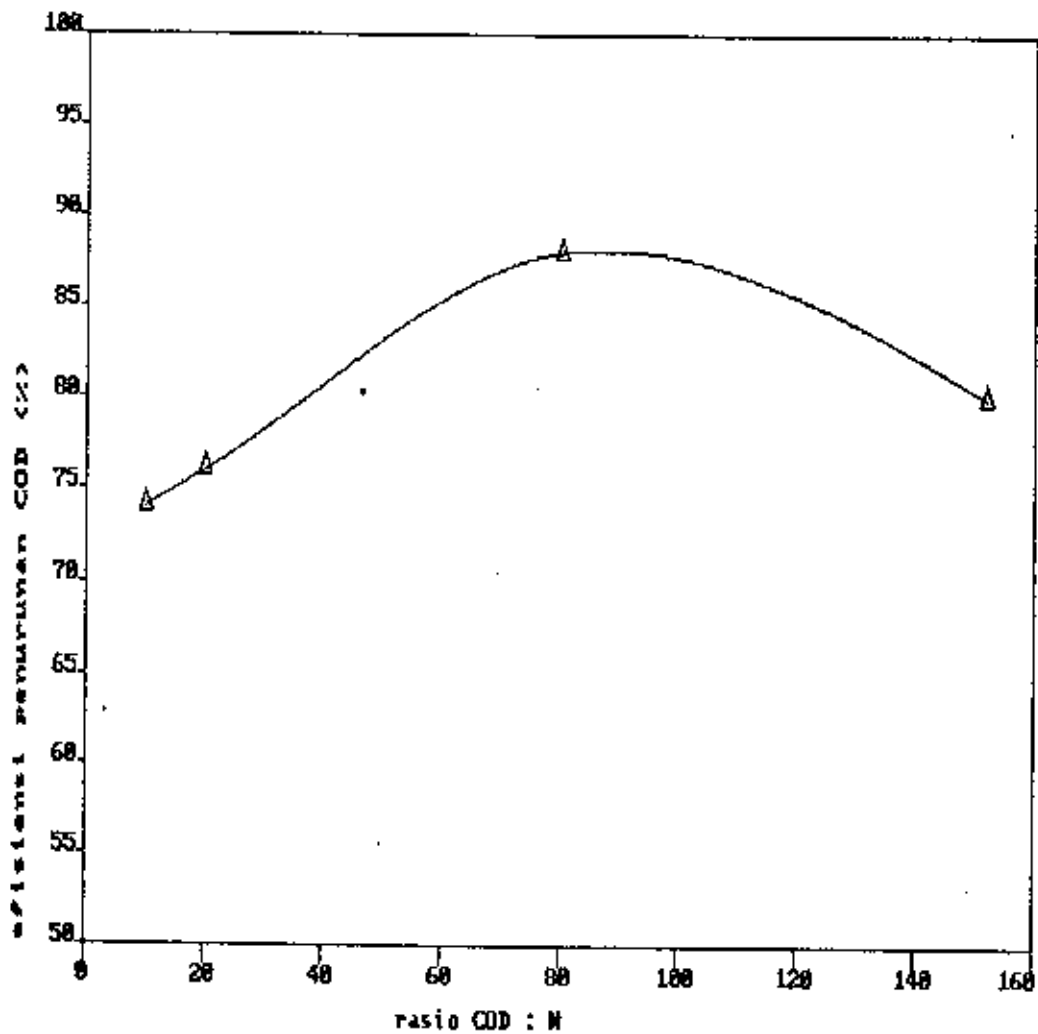
Keterangan : (%) = lumpur setelah pencampuran

HASIL PENELITIAN & PEMBAHASAN

Dari tabel 4.3 terlihat adanya kecenderungan antara variasi nutrisi terhadap pertambahan jumlah lumpur dan penurunan bahan organik (ditentukan dengan analisa COD). Untuk lebih jelasnya, lihat gambar 4.1 dan 4.2 berikut :



Gambar 4.1. Pertumbuhan lumpur relatif berdasarkan rasio COD:N



Gambar 4.2. Efisiensi penurunan COD berdasarkan rasio COD:N

Pada gambar 4.2 terlihat bahwa dengan kondisi eksisting (COD:N = 152), efisiensi penurunan COD cukup tinggi, yaitu 80 %. Ini menunjukkan bahwa sesungguhnya air limbah pabrik tahu sangat mudah terurai atau biodegradable. Karena dengan rasio 100:0,66:0,2 saja, efisiensinya sudah tinggi. Kenyataan tersebut didukung oleh rasio BOD/COD sebesar 0,6,

yang artinya tidak ada komponen penghambat dalam air limbah influen yang bersifat toksik bagi mikroorganisma anaerobik.

Pada gambar 4.1 menunjukkan bahwa ada peningkatan yang tajam pada pertumbuhan lumpur relatif per hari bila ditambahkan nutrien N dan P dengan rasio 100:1,25:0,25 (COD:N = 80) pada air limbah awal. Dengan rasio ini pertumbuhan lumpur meningkat dari 38×10^{-6} kg/hari pada kondisi eksisting menjadi 129×10^{-6} kg/hari. Pertumbuhan lumpur yang tinggi ini merupakan indikasi dari tingginya pertumbuhan mikroba hidrolisis - fermentatif dan methanogenic. Ini menunjukkan juga bahwa dengan tercukupinya nutrien, akan mempercepat rate pertumbuhan mikroorganisma dalam reaktor.

Hasil ini sesuai dengan pernyataan Verstraete, bahwa rasio nutrien 100:1,25:0,25 merupakan rasio nutrien minimum untuk proses anaerobik.

Dengan mikroorganisma yang semakin banyak, maka kemampuan untuk mengkonsumsi substrat yang masuk ke dalam reaktor, juga meningkat. Sehingga reduksi bahan organik menjadi karbondioksida dan metana tinggi. Inilah yang menyebabkan penurunan kandungan COD saat rasio 100:1,25:0,25 menjadi paling besar dibandingkan dengan ketiga variasi nutrien lain (gambar 4.2). Penurunan COD yang didapatkan adalah sebesar 88 %.

Saat perlakuan variasi nutrien 100:5:1 (COD:N = 20) dan 100:10:2 (COD:N = 10), pertumbuhan lumpur relatif per

hari tidak terlalu tinggi, dibandingkan dengan saat perlakuan kondisi eksisting dan COD:N = 80. Pertumbuhan lumpur saat itu sebesar 28×10^{-6} kg/hari untuk COD:N = 20 dan 23×10^{-6} kg/hari untuk COD:N = 10. Kecilnya pertumbuhan lumpur ini berpengaruh terhadap efisiensi penurunan COD yang juga rendah, yaitu 76 % untuk COD:N = 20 dan 74 % untuk COD:N = 10.

Pertumbuhan lumpur yang tidak terlalu besar menandakan mikroba anaerobik dalam reaktor tidak dapat berkembang biak secara optimal. Sehingga kemampuan menguraikan bahan organik juga tidak maksimal. Ini yang menyebabkan rendahnya efisiensi removal COD yang diperoleh.

Selain itu, rendahnya efisiensi ditunjang juga oleh rasio antara jumlah makanan dan jumlah mikroba (Food / Microorganisme atau F/M) yang cukup besar. Terlihat pada tabel 4.3, bahwa untuk 100:5:1 didapatkan rasio F/M = 2,88 dan F/M = 4,33 untuk 100:10:2 (bandingkan dengan rasio F/M saat perlakuan kondisi eksisting dan COD:N = 80). Ternyata pertumbuhan mikroba yang rendah menyebabkan ketidakseimbangan antara jumlah mikroorganisma dengan jumlah substrat.

Pertumbuhan mikroba yang lebih rendah daripada saat perlakuan kondisi eksisting tersebut, dapat menjadi indikator mulai adanya gangguan dalam proses. Gangguan tersebut diduga disebabkan oleh keberadaan amoniak pada konsentrasi yang sudah dapat mengganggu jalannya proses.

Amoniak berada dalam bentuk ion ammonium (NH_4^+) dan gas amoniak (NH_3). Pada konsentrasi rendah, amoniak dapat mempercepat pertumbuhan mikroba. Jika total N-amoniak cukup tinggi, dapat memberikan efek toksik.

Menurut Verstraete, konsentrasi amoniak bebas antara 50 - 80 mg/l masih dapat diterima. Tetapi pada 80 mg/l, amoniak mulai mengganggu proses methanogenesis.

Pada penelitian ini, tidak dilakukan analisa NH_3 sehingga tidak dapat memberikan data mengenai konsentrasi NH_3 .

Dari hasil penelitian dengan variasi nutrisi ini, maka rasio 100:1,25:0,25 atau COD:N = 80 merupakan rasio nutrisi yang sesuai untuk air limbah pabrik tahu. Sehingga rasio nutrisi ini dipakai pada penelitian selanjutnya dengan variasi beban organik.

4.3. Pengaruh Beban Organik terhadap Penurunan Kandungan COD

Reaktor anaerobik aliran horisontal, yang dikembangkan oleh Bachman dan Mc Carty ini, pernah dicobakan pada air buangan terlarut yang mengandung 7,1 g/l COD dengan waktu detensi 1 hari pada 35°C. Efisiensi removal COD yang didapatkan sebesar 80 %, dengan produksi gas volumetrik 2,9. Uji yang sama juga telah dilakukan dengan air buangan yang diencerkan (0,48 g/l COD) dan hasil yang sama diperoleh pada suhu 25°C.

Dengan jenis reaktor yang sama dan jarak antar baffle pada setiap kompartemen sebesar 2 cm, penulis ingin mengetahui sejauh mana pengaruh beban organik terhadap penurunan kandungan COD.

Salah satu cara untuk melakukan variasi beban organik adalah dengan mengubah waktu detensi. Yang dimaksud waktu detensi adalah waktu tinggal substrat di dalam reaktor.

Pada penelitian ini dilakukan 4 variasi waktu detensi, yaitu 6, 9, 12 dan 18 jam dengan konsentrasi COD influen dijaga tetap 2000 mg/l. Dengan demikian terdapat 4 variasi beban organik.

Perlakuan waktu detensi dimulai dari yang paling besar, yaitu 18 jam. Diharapkan mikroorganisme dalam reaktor anaerobik dapat menyesuaikan dengan jumlah substrat yang semakin besar. Dengan mempercepat waktu detensi, maka debit influen diperbesar, yang artinya memberbesar juga beban organik sistem pengolahan.

Tabel 4.4 dan 4.5 menampilkan data hasil penelitian dengan variasi waktu detensi. Sedangkan grafik hubungan antara efisiensi penurunan COD terhadap waktu detensi, beban organik dan penambahan lumpur, dapat dilihat pada gambar 4.3, 4.4 dan 4.5.

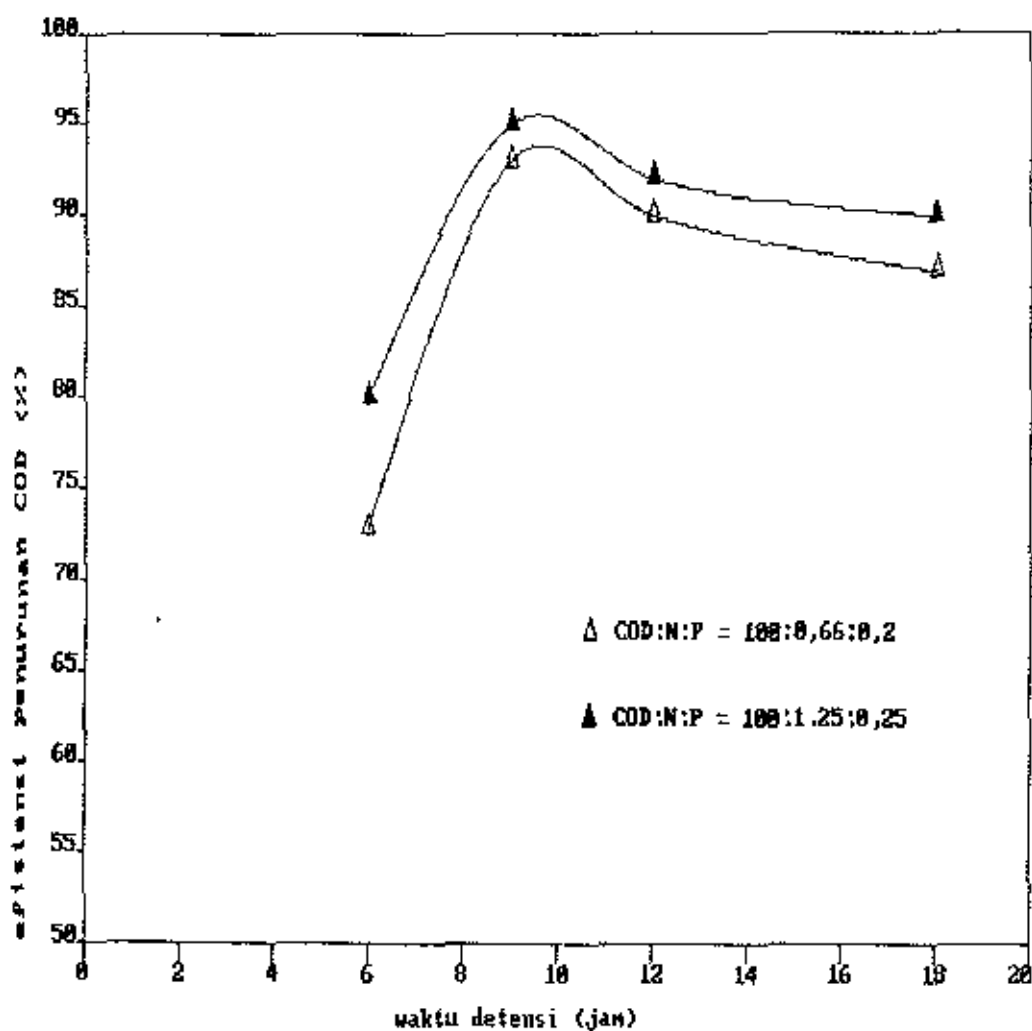
Label 4.4. Data hasil penelitian dengan variasi waktu detensi

No.	Parameter	Satuan	COD : N : P = 100 : 0,66 : 0,2				COD : N : P = 100 : 1,25 : 0,25			
			Waktu Detensi				Waktu Detensi			
			18 jam	12 jam	9 jam	6 jam	18 jam	12 jam	9 jam	6 jam
1	Zeban organik	kgCOD/m ³ .hari	2,7	4	5,3	8	2,7	4	5,3	8
2	Hari pengamatan ke-		76 - 100	101 - 125	126 - 150	151 - 175	76 - 100	101 - 125	126 - 150	151 - 175
3	Lama operasi	hari	25	25	25	25	25	25	25	25
4	pH influen		6,00	6,10	6,80	7,20	6,20	6,28	6,60	7,00
	pH efluen		7,00	7,15	7,40	8,90	7,00	7,00	7,10	7,00
5	COD influen	mg/l	2147	2210	2314	2012	2166	2247	2330	2076
	COD efluen	mg/l	279	213	162	543	217	185	120	415
	Efisiensi removal	%	87	90	93	73	90	92	95	80
6	Volume gas total	ml/hari	3700	6850	8980	3240	4470	6900	9600	7600
7	NH ₄ influen	mg/l	7	6	5	7	8	9	7	7
	NH ₄ efluen	mg/l	53	70	15	51	93	78	10	56
8	NO ₃ influen	mg/l	6	6	8	6	5	7	6	6
	NO ₃ efluen	mg/l	1	1	1	2	1	1	1	2
	Efisiensi removal	%	76	78	82	65	84	86	82	65
9	SS influen	mg/l	1210	1218	1250	1074	1020	1154	1246	1280
	SS efluen	mg/l	315	320	235	402	342	297	225	508
	Efisiensi removal	%	74	74	81	63	66	74	82	60

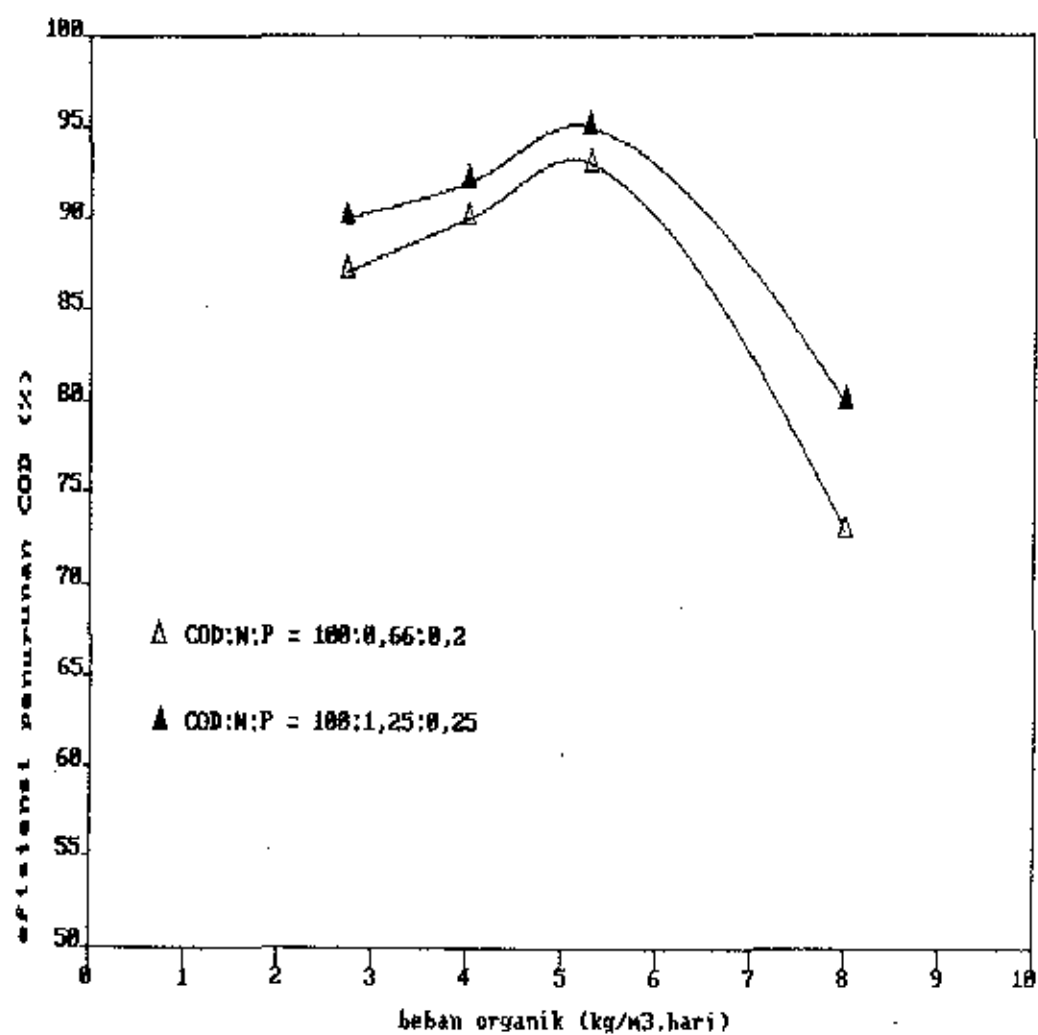
HASIL PENELITIAN & PEMBAHASAN

No.	Parameter	Satuan	COD : N : P = 100 : 0,66 : 0,2											
			18 Jan	12 Jan	9 Jan	8 Jan	10 Jan	12 Jan	9 Jan	6 Jan	12 Jan	9 Jan	6 Jan	
10	Karakteristik lumpur :													
	a. pH													
	Kompartemen I		6.43	6.34	6.36	6.40	6.36	6.43	6.40	6.40	6.40	6.40	6.40	
	Kompartemen II		6.53	6.57	6.47	6.60	6.49	6.68	6.70	6.70	6.70	6.70	6.70	
	Kompartemen III		6.60	6.61	6.60	6.60	6.72	6.73	6.68	6.68	6.68	6.68	6.68	
	b. MLSS													
	Kompartemen I	mg/l	3026	3888	4812	5885	3127	3956	4812	5910	5910	5910	5910	
	Kompartemen II	mg/l	2900	3824	4755	5584	2932	3895	4784	5752	5752	5752	5752	
	Kompartemen III	mg/l	2721	3659	4624	5627	2746	3622	4595	5522	5522	5522	5522	
	MLSS total	mg	14412	18902	23652	28493	14675	19122	23618	28640	28640	28640	28640	
	c. MLVSS													
	Kompartemen I	mg/l	1169	2319	3002	3320	1794	2625	3000	3546	3546	3546	3546	
	Kompartemen II	mg/l	1062	1896	2905	2607	1055	2430	2978	2416	2416	2416	2416	
	Kompartemen III	mg/l	940	2129	2442	2582	1050	2165	3224	3093	3093	3093	3093	
	MLVSS total	mg	5285	10573	15248	14182	6482	12033	16670	15092	15092	15092	15092	
	d. Volume lumpur													
	Kompartemen I	ml	98	135	183	254	99	140	180	258	258	258	258	
	Kompartemen II	ml	94	135	175	240	93	145	178	252	252	252	252	
	Kompartemen III	ml	86	127	167	231	88	135	172	245	245	245	245	
	Volume lumpur total	ml	278	397	525	725	280	420	530	755	755	755	755	
	e. SVI													
	Kompartemen I	ml/gr	32.39	34.99	36.03	43.16	31.66	35.39	37.41	43.65	43.65	43.65	43.65	
	Kompartemen II	ml/gr	32.41	35.30	36.80	42.98	31.72	37.23	37.21	43.81	43.81	43.81	43.81	
	Kompartemen III	ml/gr	31.61	34.71	36.12	41.05	32.05	37.27	36.63	44.37	44.37	44.37	44.37	

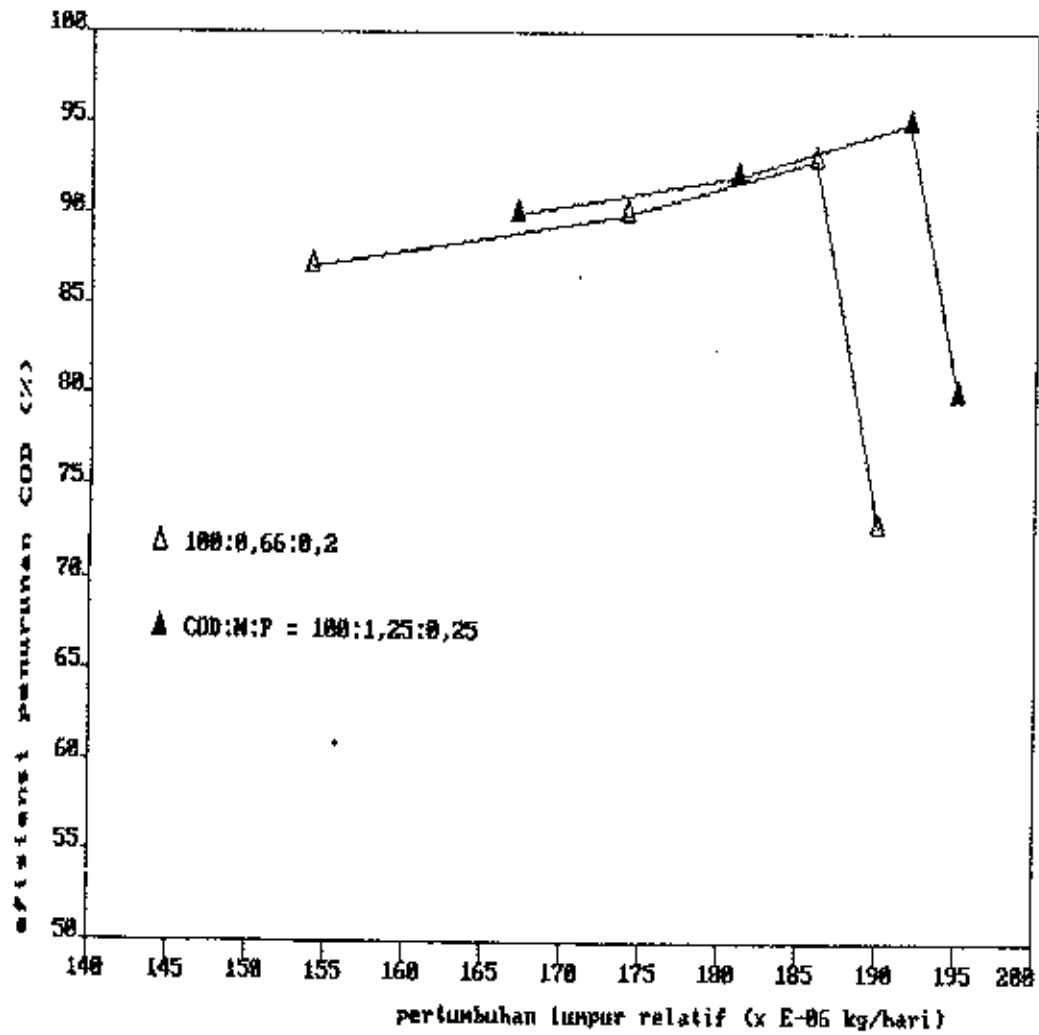
Keterangan : * MLSS total
 * MLVSS total
 * Volume lumpur total = Vol. lumpur komp. I + Vol. lumpur komp. II + Vol. lumpur komp. III



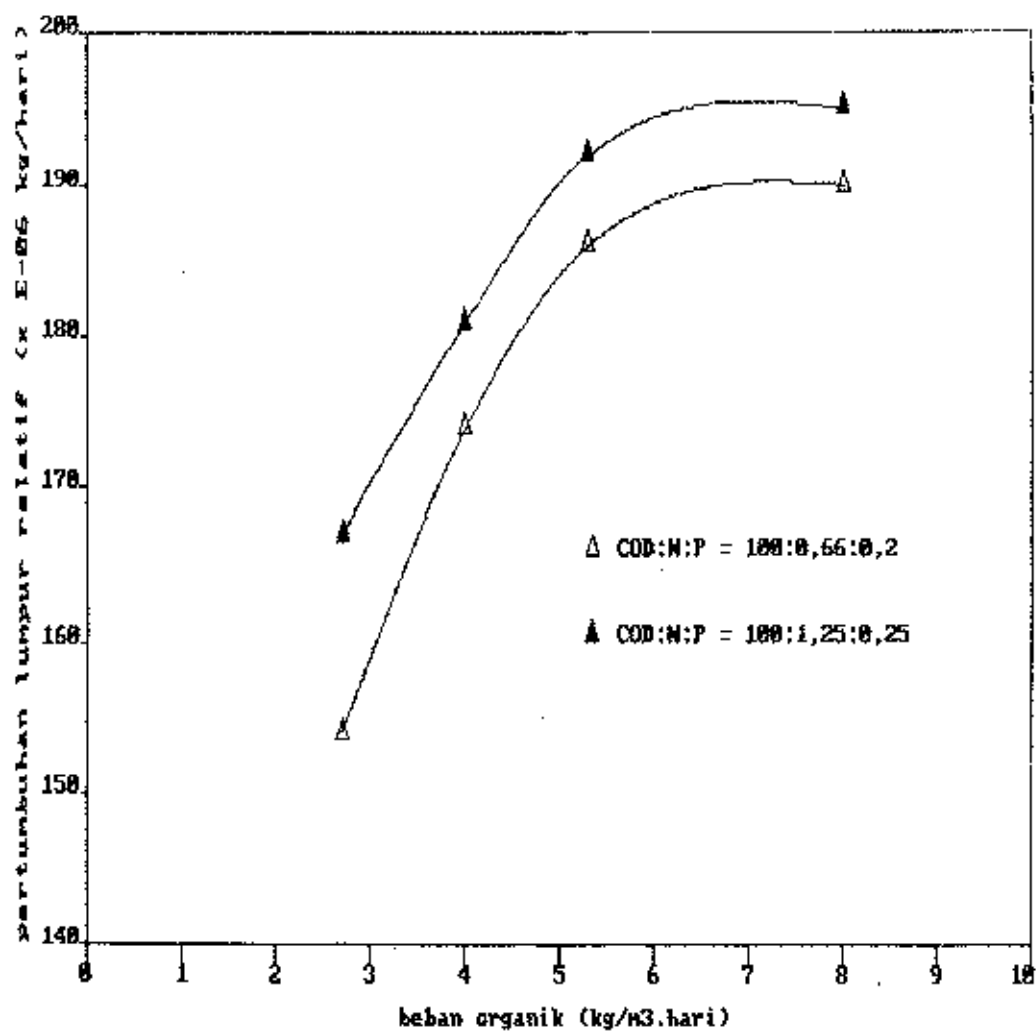
Gambar 4.3. Efisiensi penurunan COD berdasarkan waktu detensi pada COD influen 2000 mg/l



Gambar 4. 4. Efisiensi penurunan COD berdasarkan beban organik



Gambar 4.5. Efisiensi penurunan COD berdasarkan pertumbuhan lumpur relatif



Gambar 4.6. Pertumbuhan lumpur relatif berdasarkan beban organik

Dari gambar 4.4 terlihat bahwa dengan meningkatkan beban organik mulai 2,7, 4 sampai 5,3 kg COD/m³ hari, atau dengan mempercepat waktu detensi dari 18, 12 sampai 9 jam (gambar 4.3), didapatkan efisiensi penurunan COD yang semakin tinggi. Efisiensi tertinggi didapatkan pada beban organik 5,3 kg COD/m³ hari atau waktu detensi 9 jam. Dimana pada kondisi eksisting diperoleh efisiensi sebesar 93 % dan 95 % pada rasio nutrisi 100:1,25:0,25.

Efisiensi yang semakin meningkat tersebut disebabkan oleh semakin banyaknya mikroorganisme anaerobik yang mengurai substrat menjadi CO₂ dan CH₄. Dengan penambahan sedikit demi sedikit substrat yang datang, akan memberi kesempatan bagi mikroba untuk beradaptasi dengan jumlah substrat yang baru. Kemampuan beradaptasi ini menyebabkan mikroba dapat berkembang biak dengan baik. Ini ditandai dengan semakin cepatnya pertumbuhan lumpur dalam reaktor, seperti terlihat pada gambar 4.6. Dimana pada penelitian ini, pertumbuhan lumpur ditentukan dengan konsentrasi dan volume.

Pertumbuhan mikroorganisme yang semakin cepat akan dapat mengimbangi jumlah substrat yang juga semakin besar. Sehingga efisiensi penurunan bahan organik yang diperoleh juga semakin tinggi (gambar 4.5).

Keseimbangan antara jumlah mikroba dengan substrat juga terlihat dari rasio F/M, seperti pada tabel 4.5.

Terlihat bahwa dengan peningkatan beban organik

sampai $5,3 \text{ kg COD/m}^3$ hari, rasio F/M semakin kecil. Dengan kecilnya F/M maka efisiensi removal COD yang didapatkan akan tinggi. Inilah yang menyebabkan semakin tingginya efisiensi penurunan COD dengan meningkatnya beban organik.

Pada kondisi eksisting, efisiensi tertinggi didapatkan pada rasio F/M = 1,75 dan F/M = 1,6 pada rasio nutrisi 100:1,25:0,25.

Pada beban organik 8 kg COD/m^3 hari atau waktu detensi 6 jam, efisiensi removal COD turun dengan tajam. Dari gambar 4.3 dan 4.4 terlihat bahwa untuk 100:0,66:0,2, efisiensi turun menjadi 73 % dan 80 % untuk variasi 100:1,25:0,25.

Turunnya efisiensi tersebut disebabkan oleh penambahan substrat yang terlalu banyak. Saat variasi waktu detensi 18, 12 dan 9 jam, kenaikan beban organik masing - masing sebesar $1,3 \text{ kg COD/m}^3$ hari. Sedangkan dari 9 jam ke 6 jam, kenaikannya sebesar $2,7 \text{ kg COD/m}^3$ hari. Pertambahan beban organik yang cukup drastis tersebut tidak seimbang dengan kenaikan jumlah mikroba dalam reaktor. Sehingga mikroorganisme yang ada terlalu sedikit untuk menguraikan substrat yang ada.

Tidak seimbangnya jumlah mikroba yang mengurai zat organik dengan substrat yang ada, tercermin dari rasio F/M yang besar. Terlihat pada tabel 4.5 bahwa pada kondisi eksisting, F/M saat waktu detensi 6 jam sebesar 2,82 dan F/M

= 2,63 saat variasi 100:1,25:0,25. Rasio F/M yang besar ini menyebabkan reduksi bahan organik yang didapatkan turun.

Jika dilihat dari MLVSS (tabel 4.3) terlihat adanya penurunan pada saat variasi waktu detensi 6 jam. Penurunan ini terjadi saat pertumbuhan lumpur yang terjadi sebesar 190×10^{-6} kg/hari untuk kondisi eksisting dan 195×10^{-6} kg/hari untuk rasio 100:1,25:0,25. Ini menunjukkan bahwa perlu adanya pembuangan lumpur agar efisiensi penurunan COD tetap tinggi.

Dengan demikian pertumbuhan mikroorganisme yang tertahan dalam reaktor serta besarnya substrat menentukan penurunan kandungan COD. Terlihat pada gambar 4.5 bahwa pada kondisi eksisting, efisiensi tertinggi didapatkan pada pertumbuhan lumpur sebesar 186×10^{-6} kg/hari dan 192×10^{-2} kg/hari untuk rasio 100:1,25:0,25.

Efisiensi penurunan COD pada variasi nutrisi 100:1,25:0,25 sedikit lebih tinggi daripada rasio 100:0,66:0,2 atau kondisi eksisting. Efisiensi yang lebih tinggi ini disebabkan oleh terpenuhinya nutrisi pada mikroba anaerobik, sehingga pertumbuhan mikroorganisme dapat optimal dan reduksi zat organik juga maksimal.

Dilihat dari efisiensi penurunan COD pada kondisi eksisting dan rasio 100:1,25:0,25, menunjukkan selisih nilai yang tidak terlalu besar. Sehingga jika kita memperhatikan

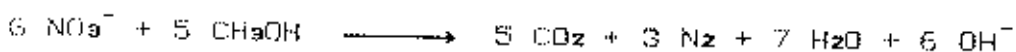
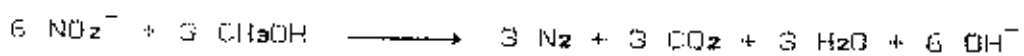
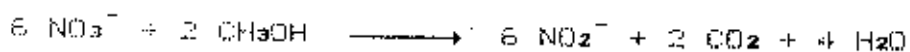
efisiensi produksi, maka air limbah dengan kondisi eksisting akan memberikan pilihan yang lebih baik.

4.5. Lain-lain

Dari percobaan yang telah dilakukan, memperlihatkan adanya penurunan konsentrasi nitrat (tabel 4.2 dan 4.4). Ini menunjukkan adanya denitrifikasi dalam pengolahan anaerobik, yaitu proses penguraian nitrat secara mikrobiologis menjadi bentuk gas nitrogen.

Terjadinya proses ini disebabkan oleh proses respirasi dari mikroba. Dalam kondisi anaerobik atau tanpa oksigen, mikroorganisme akan memakai nitrat atau nitrit sebagai pengganti oksigen bebas. Dalam hal ini, nitrat atau nitrit berfungsi sebagai hidrogen akseptor yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk pertumbuhannya.

Menurut Metcalf dan Eddy (1979), proses denitrifikasi diturunkan dalam 2 langkah proses seperti persamaan berikut :



Persamaan di atas secara jelas menunjukkan bahwa nitrat adalah elektron akseptor, karena nitrat memperoleh elektron dan direduksi menjadi gas nitrogen. Sedangkan

metanol berfungsi sebagai elektro donor, karena metanol kehilangan elektron dan dioksidasi menjadi karbondioksida.

Pada persamaan di atas juga terlihat bahwa OH^- dihasilkan pada proses denitrifikasi, yang berarti menambah nilai pH. Karena kondisi pH netral, penting untuk pertumbuhan sel.

Telah dijelaskan bahwa saat melakukan variasi konsentrasi COD influen 4000 mg/l dengan waktu detensi 24 jam, proses mengalami shock loading. Ini disebabkan oleh penambahan beban organik yang terlalu besar dari 2 kgCOD/m³ hari menjadi 4 kg COD/m³ hari.

Terganggunya proses tersebut ditunjukkan oleh menurunnya produksi gas total yang dihasilkan. Pada awal perlakuan, volume gas per hari turun sampai 70 % (lihat lampiran).

Telah diketahui bahwa proses anaerobik melibatkan 2 kelompok besar bakteri, yaitu bakteri hidrolisis-fermentatif dan bakteri methanogenesis. Bila proses menerima beban kejutan, reaksi kedua grup bakteri berbeda. Bakteri methan merupakan grup dengan pertumbuhan yang lambat dan sensitif. Dengan terganggunya tahap methanasi, kedua bakteri tidak berada dalam keseimbangan dinamis. Jika kecepatan produksi asam terlalu cepat, sedangkan kecepatan methanasi tidak dapat mengimbangi, maka akan terjadi konsentrasi asam volatile yang berlebih sehingga terakumulasi dan selanjutnya mengganggu

tahap acetogenik. Jika tahap acetogenik terganggu, maka tahap methanasi juga terganggu, karena bakteri acetogenik dalam hal ini bekerja sama dengan bakteri methan. Ini menyebabkan sistem pengolahan tidak lagi efisien atau removal COD yang didapatkan rendah, yaitu sekitar 68 %.

Tabel 4.6. Hasil penelitian saat konsentrasi COD influen 4000 mg/l dengan waktu detensi 24 jam

No.	Parameter	Satuan	komposisi nutrisi	
			100:0,66:0,2	100:1,25:0,25
1	lama operasi	hari	25	25
2	Beban organik	kgCOD/m ³ .hari	4	4
3	Efisiensi removal COD	%	68	69
4	Gas total	ml/hari	100	75
5	MLSS			
	Kompartemen I	mg/l	1935	2410
	Kompartemen II	mg/l	1812	2324
	Kompartemen III	mg/l	1945	2202
	MLSS total	mg	9487	11560
	Pertambahan lumpur relatif (x E-06)	kg/hari	99,87	180,44
6	MLVSS			
	Kompartemen I	mg/l	910	1085
	Kompartemen II	mg/l	652	831
	Kompartemen III	mg/l	622	661
	MLVSS total	mg	3640	4295
7	Rasio F/M		5,49	4,66
8	Volume lumpur total	ml	268	273
	Pertambahan volume lumpur relatif	ml/hari	6,32	6,36

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian pengaruh nutrisi dan beban organik terhadap penurunan kandungan COD pada air limbah pabrik tahu dengan reaktor anaerobik aliran horisontal, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pemberian nutrisi sangat berpengaruh terhadap penurunan kandungan COD, karena berhubungan dengan kecukupannya kebutuhan nutrisi mikroorganisme dalam proses. Jika nutrisi kurang, mikroorganisme tidak dapat tumbuh secara optimal. Sebaliknya, jika nutrisi berlebih, keberadaannya dapat mengganggu proses.
2. Perbandingan nutrisi yang paling sesuai untuk air limbah pabrik tahu adalah 100:1,25:0,25.
3. Peningkatan beban organik dapat meningkatkan penurunan kandungan COD, asalkan jumlah mikroorganisme yang tertahan dalam reaktor mencukupi untuk menguraikan substrat yang ada.
4. Efisiensi penurunan COD tertinggi diperoleh pada beban organik 5,3 kg COD/m³ hari atau waktu detensi 9 jam dengan konsentrasi COD influen 2000 mg/l.

5. Penambahan substrat pada reaktor anaerobik harus dilakukan sedikit demi sedikit atau secara bertahap agar proses tidak terganggu.

5.2. Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan dan didapatkan hasilnya ini, dapat disimpulkan beberapa hal berkaitan dengan pengolahan anaerobik, sekaligus dapat diketahui kekurangan yang ada.

Beberapa hal yang dapat dilakukan untuk penyempurnaan adalah sebagai berikut.:

1. Melakukan penelitian dengan variasi peletakan baffle, untuk mengetahui pengaruh kontak antara substrat yang masuk dengan mikroba terhadap efisiensi proses anaerobik.
2. Melakukan pengukuran terhadap konsentrasi NH_3 untuk dapat memberikan gambaran lebih jelas terhadap efisiensi proses.

DAFTAR PUSTAKA

-
- Alaerts, G, DR.Ir, Sumestri, S, Ir, *Metoda Penelitian Air*, Usaha Nasional Surabaya, 1987,
 - APHA, AWWA, WPCF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Engineering System*, 15th edition; Washington, 1980,
 - Barnes, D, Bliss, P.J., Gould, B.W., Valentine, H.R., *Water and Wastewater Engineering System*, Pitman Books Ltd, London, 1981,
 - Benefield, L.D., Randall, C.W., *Biological Process Design for Wastewater Treatment*, Prentice Hall, Inc., New Jersey, 1980,
 - Gaudy, Jr. A.F., Gaudy, E.T., *Microbiology for Environmental Scientist and Engineers*,
 - Hammer, Mark J., *Water and Wastewater Technology*, SI Version, John Wiley and Sons, Inc. Toronto, 1979,
 - Hartati, Ati, *Efek Luas Permukaan Kontak pada Degradasi Anaerobik Buangan Organik Terlarut*, Laporan Penelitian, Program Studi Teknik Penyehatan, FTSP, ITS, 1994,
 - Metcalf and Eddy, Inc., *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*, Second Edition, McGraw-Hill, 1979,
 - Price, E.C., Cheremisinoff, F.N., *Biogas Production and Utilization*, Ann Arbor Science, 1981,
 - Setiadi, R, *Studi Pengaruh pH, Beban Organik dan Waktu Detensi Terhadap Pengolahan Air Limbah Industri Kertas dengan Reaktor Anaerobik Aliran Horisontal*, Laporan Tugas Akhir, Program Studi Teknik Penyehatan, FTSP, ITS, 1993,

Stuckey, D.L., *Technology Assessment Study of Biogas in Developing Countries*, IFCWD, 1983,

- Verstraete, W., Ir, DR, Prof., *Biotechnological Processes in Environmental Technology*, part II, Laboratory General and Applied Microbial Ecology, University of Gent, 1990-1991.

L A M P I R A N

A. Prosedur Analisa

Prosedur pengukuran parameter :

• Chemical Oxygen Demand (COD)

• Alat-alat :

- alat refluks
- batu didih
- pemanas listrik
- buret 50 ml
- pipet volum 5 ml, 10 ml
- erlenmeyer COD 250 ml
- labu ukur 100 ml
- karet penghisap

• Reagen :

- larutan standard kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,25 N
- bubuk merkuri sulfat ($HgSO_4$)
- reagen asam sulfat-perak sulfat
- larutan standard Fero Amonium Sulfat (FAS) 0,1 N
- indikator ferroin

• Cara Kerja :

- masukkan 0,4 gram $HgSO_4$ ke dalam erlenmeyer COD,
- masukkan 5 atau 6 batu didih yang telah dibersihkan

- terlebih dahulu ke dalam erlenmeyer COD,
- tambahkan larutan sampel (atau sampel yang telah diencerkan dengan air suling) sebanyak 20 ml,
 - tambahkan larutan $K_2Cr_2O_7$ sebanyak 10 ml,
 - tambahkan 30 ml reagen asam sulfat-perak sulfat dan kocok perlahan-lahan supaya panasnya merata,
 - alirkan air pendingin pada kondensor dan letakkan erlenmeyer COD di bawah kondensor,
 - tempatkan kondensor dan erlenmeyer COD di atas pemanas listrik dan refluks larutan selama 2 jam,
 - biarkan gelas refluks dingin dahulu, kemudian bilas kondensor dengan air suling sampai ± 150 ml,
 - lepaskan gelas refluks dari kondensor, dan tambahkan 3 - 4 tetes indikator ferroin,
 - titrasi dengan FAS 0,1 N sampai warna hijau biru menjadi coklat merah, dan catat volume titran,
 - untuk analisa blanko dilakukan seperti pada sampel, hanya air sampel diganti dengan air suling.

e Perhitungan :

$$COD = \frac{(a - b) \times N \times 8000}{ml \text{ sampel}} \times P \quad (mg/l)$$

dimana : a = volume FAS untuk titrasi blanko (ml)

b = volume FAS untuk titrasi sampel (ml)

N = normaliti larutan FAS

P = faktor pengenceran

e Biochemical Oxygen Demand

e Alat-alat :

- botol Winkler 125 ml
- buret 50 ml
- pipet volum 2 ml
- erlenmeyer 250 ml

e Reagen :

- larutan $MnSO_4$
- larutan KI
- H_2SO_4 pekat
- indikator kanji 0,5 %
- larutan thiosulfat 0,025 N (Na_2SO_3)

e Cara Kerja :

- masukkan sampel ke dalam botol Winkler sampai penuh,
- tambahkan 2 ml $MnSO_4$,
- tambahkan 2 ml KI dan tutup botol dengan hati-hati untuk mencegah terperangkapnya udara luar, kemudian kocok sambil membalik-balikkan botol,
- biarkan gumpalan mengendap selama 10 menit,
- tambahkan 2 ml H_2SO_4 pekat, kocok,
- ambil 100 ml sampel dan masukkan dalam erlenmeyer,
- tambahkan amylum sampai timbul warna biru,
- titrasi dengan Na_2SO_3 sampai warna biru hilang untuk pertama kalinya dan catat volume titran,

- untuk analisa blanko, lakukan hal yang sama dengan aquades,
- lakukan pengamatan pada hari ke-0 dan ke-5.

• Perhitungan :

* Dissolved Oxygen (DO)

$$DO = \frac{D \times N \times 8000}{ml \text{ sampel}} \quad (mg \text{ O}_2/l)$$

dimana : D = volume $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (ml)

N = normalitas $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (ek/l)

* BOD

$$BOD_{\frac{20}{5}} = \frac{[(E_0 - E_5) - (F_0 - F_5)] (1-P)}{P} \quad (mg \text{ O}_2/l)$$

dimana : E_0 = DO sampel pada $t = 0$ hari (mg O_2/l)

E_5 = DO sampel pada $t = 5$ hari (mg O_2/l)

F_0 = DO blanko pada $t = 0$ hari (mg O_2/l)

F_5 = DO blanko pada $t = 5$ hari (mg O_2/l)

• N-Kjeldahl

• Alat-alat :

- spektrofotometer (spectronic 20)
- labu kjeldahl 250 ml & pemanas
- erlenmeyer 100 ml
- pipet volum
- kuvet

e Reagen :

- larutan standart amoniak
- natrium hidroksida tiosulfat
- larutan digest
- larutan Nessler
- indikator pp
- larutan asam borat (H_3BO_3)
- larutan buffer borat
- larutan NaOH 6N
- air suling bebas amoniak

e Cara Kerja :

- tuangkan sampel asli sebanyak 25 ml ke dalam labu Kjeldahl 0,25 l. Sampel yang diambil telah mengalami pengenceran,
- tambahkan dengan hati-hati reagen peleburan (digest) sebanyak 5 ml,
- masukkan beberapa batu didih ke dalam labu Kjeldahl dan kocok campuran sampel tersebut,
- campuran dipanaskan pada alat peleburan Kjeldahl, sampai uap SO_3 keluar. Pendidihan diteruskan sampai larutan menjadi jernih dan berwarna kuning muda atau tidak berwarna, waktu yang diperlukan kira-kira 1 jam. Digesti diteruskan selama 30 menit. Kemudian didinginkan dan diencerkan sampai sekitar 100 ml,
- tambahkan 10 tetes indikator phenol phtalein (pp).

Tuangkan dengan hati-hati reagen hidroksid-tiosulfat sebanyak 5 ml sehingga larutan basa ini membentuk lapisan pada dasar labu. Selanjutnya pasang kembali labu pada alat destilasi dan digoyang-goyangkan sehingga isinya tercampur,

- sampel yang telah mendapat perlakuan seperti di atas tadi, kemudian didestilasi. Suling sampel dengan kecepatan 6 - 10 ml/menit. Hasilnya ditampung pada beker gelas kecil yang telah diisi larutan absorben asam borat sebanyak 50 ml, yang akan menyerap amoniak. Ujung alat destilasi diusahakan tercelup dalam larutan asam borat sedalam ± 2 cm. Destilat yang ditampung minimal 40 % dari jumlah sampel,
- tuangkan destilat yang mengandung asam borat ke dalam labu takar 100 ml, kemudian encerkan,
- dengan menggunakan pipet, pindahkan destilat yang mengandung asam borat tadi sebanyak 50 ml ke dalam labu takar 50 ml, kemudian tambahkan 2 ml reagen nessler,
- kocok sampel yang telah ditambah reagen nessler tadi dengan cara membolak-balikkan sampel di dalam labu takarnya. Kemudian biarkan reaksi berjalan sekitar 10 menit. Selanjutnya dilihat absorbansinya pada spektrofotometer dengan panjang gelombang (λ) = 420 nm,
- blanko berasal dari air suling bebas amoniak yang

ditambah dengan 2 ml reagen nessler dan dilihat juga pada spektrofotometer.

⊗ N-Ammonium

⊗ Alat-alat :

- spektrofotometer
- labu ukur 50 ml
- erlenmeyer 250 ml
- pipet volum 1 ml
- kuvet

⊗ Reagen :

- larutan garam seignette
- pereaksi nessler

⊗ Cara Kerja :

- masukkan 25 ml sampel yang telah disaring dalam labu ukur,
- tambahkan 1,25 ml garam seignette dan 1 ml pereaksi nessler,
- kocok dan biarkan selama 15 menit,
- periksa absorbansinya dengan spektrofotometer dengan $\lambda = 420 \text{ nm}$.

• N-Nitrat

• Alat-alat :

- spektrofotometer
- labu ukur 50 ml
- erlenmeyer 250 ml
- pipet ukur
- kuvet

• Reagen :

- larutan standart nitrat
- larutan brucine acetat
- larutan asam sulfat pekat

• Cara Kerja :

- ambil 2 ml sampel yang telah disaring ke dalam labu ukur,
- tambahkan 2 ml brucine acetat dan 4 ml H_2SO_4 pekat,
- kocok dan diamkan selama 7 menit,
- periksa warna yang terjadi pada spektrofotometer dengan $\lambda = 420 \text{ nm}$,
- blanko adalah air suling bebas N yang mengalami perlakuan sama dengan sampel.

• Fosfat

• Alat-alat :

- Spektrofotometer
- kuvet
- labu ukur 25 ml
- erlenmeyer 250 ml
- pipet volum 1 ml

• Reagen :

- indikator phenolphthalein
- NaOH 1 N
- larutan digest
- kristal $K_2S_2O_8$
- aquades

• Cara Kerja :

- ambil 25 ml sampel yang telah disaring,
- tambahkan pp dan dilihat apakah ada perubahan warna menjadi merah atau tidak,
- netralkan dengan NaOH secukupnya,
- tambahkan 0,5 - 1 ml larutan digest,
- tambahkan $K_2S_2O_8$ sebanyak 0,5 gram, kemudian panaskan campuran tersebut sehingga tersisa \pm 5 ml,
- encerkan dengan air bebas P secukupnya, yang berfungsi sebagai pencuci,
- tambahkan larutan NaOH secukupnya sehingga terjadi

perubahan warna,

- encerkan sampai dengan volume 50 ml, kemudian kocok,
- biarkan selama 10 menit, selanjutnya dibaca absorbansi pada spektrofotometer dengan $\lambda = 650 \text{ nm}$.

• MLSS dan MLVSS

• Alat-alat :

- cawan
- oven untuk pemanasan 105°C
- desikator
- furnace untuk pembakaran 550°C
- neraca analitis
- filter kertas Whatman
- vacuum filter dan pompanya

• Cara Kerja :

- panaskan kertas saring dan cawan masing-masing ke dalam oven bersuhu 105°C selama 1 jam, lalu dinginkan dalam desikator selama ± 15 menit dan timbang,
- masukkan 50 ml sampel yang telah dikocok dalam vacuum filter yang sudah diberi kertas saring tadi, lakukan penyaringan,
- kertas saring dan residu hasil penyaringan dimasukkan dalam cawan dan dipanaskan kembali pada oven bersuhu 105°C selama 1 jam, dinginkan dalam desikator dan timbang,

- panaskan kembali kertas saring, residu dan cawan dalam furnace bersuhu 550°C selama 30 menit,
- pindahkan ke oven 105°C selama 15 menit, dinginkan dalam desikator dan ditimbang.

• Perhitungan :

* Mixed Liquor Suspended Solid (MLSS)

$$\text{MLSS} = \frac{(I - J) \times 10^6}{K} \quad (\text{mg/l})$$

dimana : I = berat residu, kertas saring dan cawan setelah pemanasan 105°C kedua

J = berat filter kering dan cawan setelah pemanasan 105°C awal

K = volume sampel yang disaring

* Mixed Liquor Volatile Suspended Solid (MLVSS)

$$\text{MLVSS} = \frac{(I - L) \times 10^6}{K} \quad (\text{mg/l})$$

dimana : L = berat residu dan cawan setelah pembakaran 550°C

• Volume Lumpur

• Alat-alat :

- kerucut Imhoff

• Cara Kerja :

- mengisi kerucut Imhoff dengan sampel yang telah dikocok merata sebanyak 1 liter
- sampel dibiarkan mengendap selama 45 menit sambil

memutar-mutar kerucut agar lumpur yang menempel pada dinding kerucut dapat terlepas dan turun ke bawah,

- volume endapan dicatat, begitu juga dengan zat terendap sebagai ml/l

• Sludge Volume Index (SVI)

SVI merupakan hasil perhitungan dari rumus berikut :

$$SVI = \frac{\text{volume lumpur}}{\text{suspended solid}} \quad (\text{ml/gr})$$

• Sulfat

• Alat-alat :

- labu ukur 50 ml
- spektrofotometer
- kuvet
- erlenmeyer 100 ml
- spatula
- pipet volum

• Reagen :

- larutan salt acid
- BaCl_2
- aquades

• Cara Kerja :

- ambil 25 ml sampel yang telah disaring,
- tambahkan 2,5 ml salt acid dan 2 spatula BaCl_2 ,
- biarkan beberapa saat, kemudian diperiksa pada

spektrofotometer dengan $\lambda = 420 \text{ nm}$.

• **Alkalinitas**

• Alat-alat :

- erlenmeyer 250 ml
- buret 50 ml
- pipet tetes

• Reagen :

- HCl 0,1 N
- indikator phenolphthalein
- indikator metyl orange

• Cara Kerja :

- ambil 100 ml sampel kemudian tambahkan 20 tetes indikator pp,
- bila terjadi warna merah muda, titrasi dengan HCl 0,1 N sampai tidak berwarna, ml titran dicatat,
- tambahkan 2 - 3 tetes indikator metyl orange,
- titrasi dengan HCl 0,1 N sampai warna kuning berubah menjadi jingga, ml HCl dicatat.

• Perhitungan :

$$\text{alkalinitas} = \frac{1000}{100} \times \frac{A \times B}{\text{ml sampel}} \times 50,4 \text{ (mg/l)}$$

dimana: A = volume titran HCl (ml)

B = normalitas HCl

B. Pembuatan Kurva Kalibrasi

Cara membuat kurva kalibrasi adalah sebagai berikut :

□ N-ammonium

Cara Kerja :

- membuat larutan standart NH_4 yang memiliki konsentrasi 100 mg N- NH_4 /l, dengan cara melarutkan 295,6 mg NH_4Cl dalam 1 liter aquades,
- membuat larutan referensi dengan konsentrasi 0,5; 1, 2, 4, 5, 10, 15, 20, dan 25 mg/l, untuk blanko dipakai air suling bebas N,
- memperlakukan larutan referensi dan blanko dengan cara yang sama seperti sampel asli,
- membuat kurva kalibrasi antara konsentrasi vs absorban.

Hasil analisa :

Konsentrasi (mg/l)	Absorban
0,0	0,00
0,5	0,02
1,0	0,03
2,0	0,16
4,0	0,34
5,0	0,35
10,0	0,68
15,0	0,86
20,0	1,05
25,0	1,30

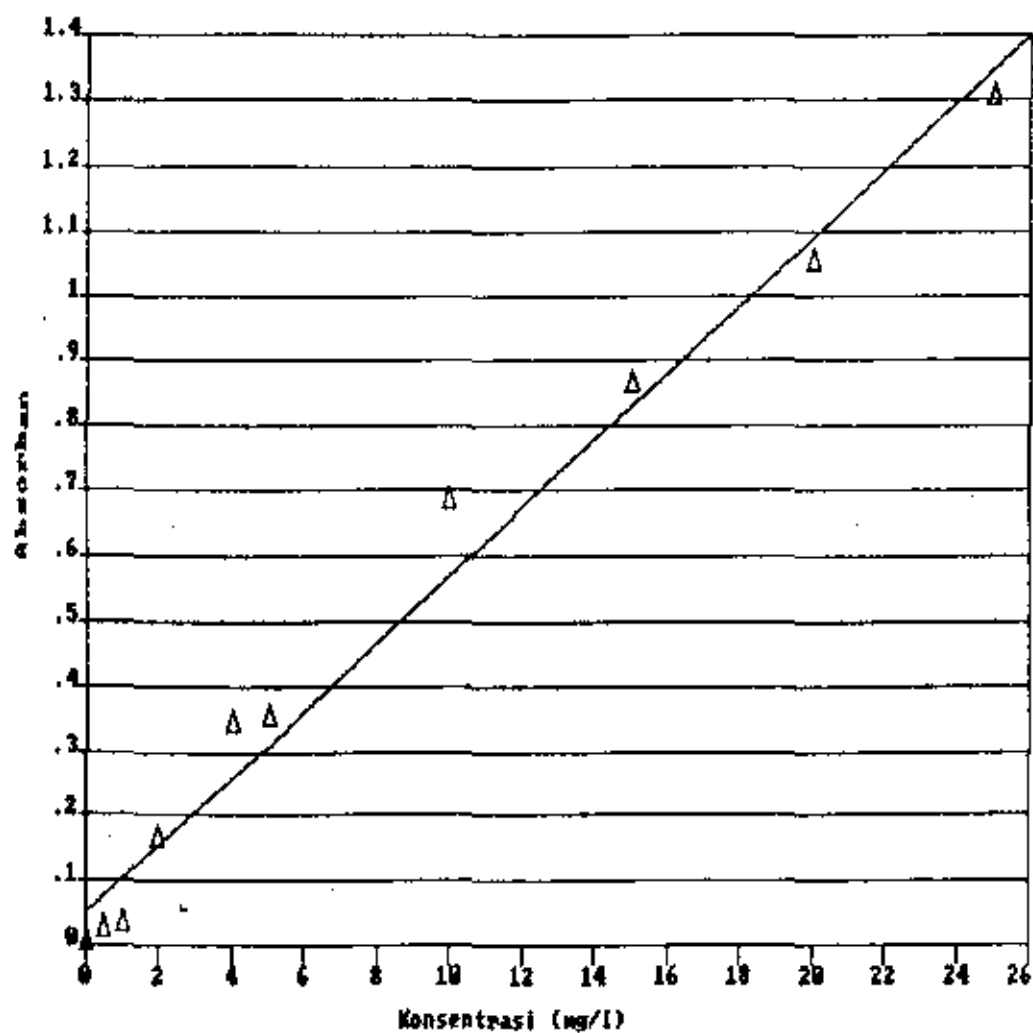
Data regresi linear :

Jumlah sampel : 10

Persamaan regresi : $y = 5,069 \times 10^{-2} + 5,192 \times 10^{-2} \times$

R squared : 0,9907

Kurva kalibrasi :



Gambar L.1. Kurva kalibrasi NH_4^+

o N-nitrat

Cara Kerja :

- membuat larutan standart NO_3^- yang memiliki konsentrasi 100 mg $\text{N-NO}_3^-/\text{l}$, dengan cara melarutkan 721,8 mg KNO_3 atau 607,5 mg NaNO_3 dalam 1 liter aquades,
- membuat larutan referensi dengan konsentrasi 0,1, 0,25, 0,5, 1, 2, 3, 4, 5 mg/l, untuk blanko dipakai air suling bebas N,
- memperlakukan larutan referensi dan blanko dengan cara yang sama seperti sampel asli,
- membuat kurva kalibrasi antara konsentrasi vs absorban.

Hasil analisa :

Konsentrasi (mg/l)	Absorban
0,0	0,00
0,1	0,02
0,25	0,05
0,5	0,10
1,0	0,17
2,0	0,40
3,0	0,56
4,0	0,85
5,0	1,15

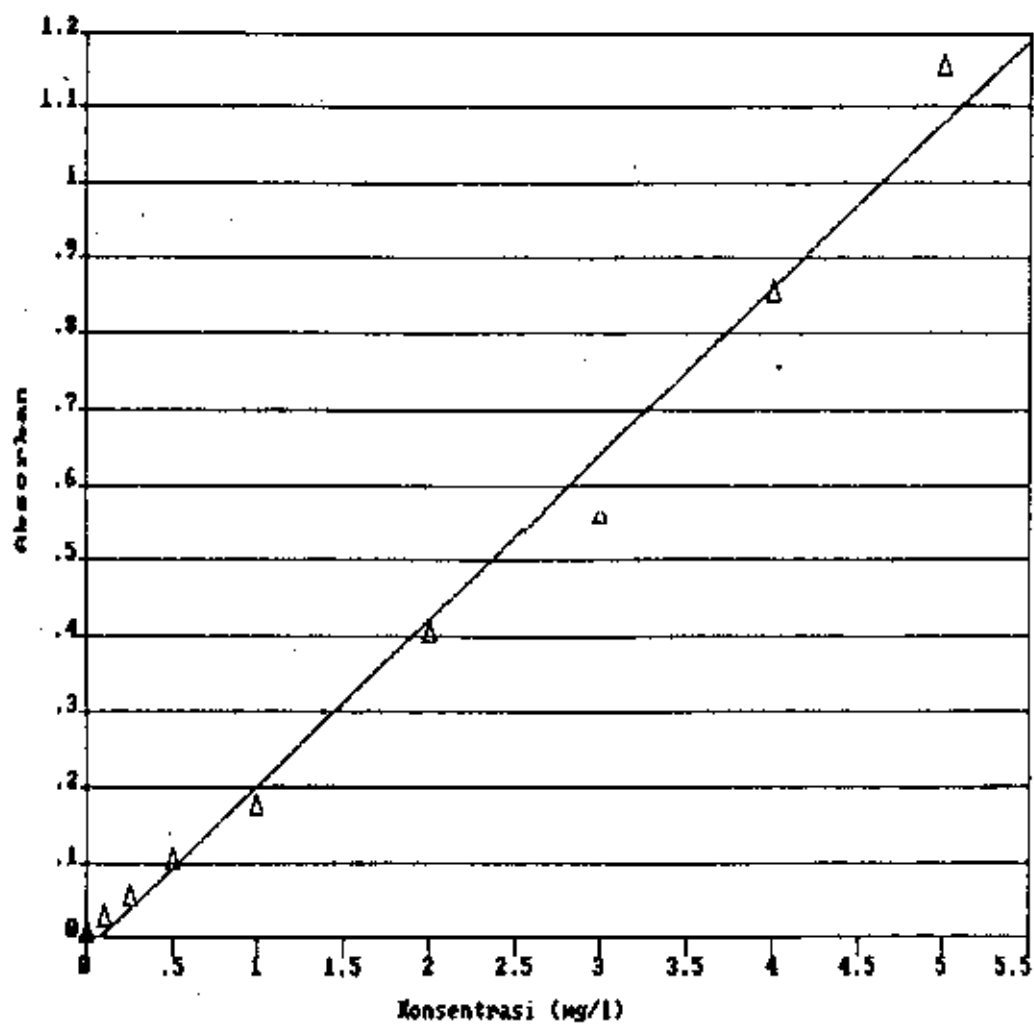
Data regresi linear :

Jumlah sampel : 9

Persamaan regresi : $y = -1,817 \cdot 10^{-2} + 2,197 \cdot 10^{-2} \cdot x$

R squared : 0,9943

Kurva kalibrasi :



Gambar L. 2. Kurva kalibrasi NO_3^-

□ Phospat

Cara Kerja :

- membuat larutan standart phospat yang memiliki konsentrasi 50 mg/l, dengan cara melarutkan 219,5 mg KH_2PO_4 dalam 1 liter aquades,
- membuat larutan referensi dengan konsentrasi 0,2, 0,3, 0,5, 0,7, 1, 1,5, 2 mg/l, untuk blanko dipakai aquades,
- memperlakukan larutan referensi dan blanko dengan cara yang sama seperti sampel asli,
- membuat kurva kalibrasi antara konsentrasi P vs absorban.

Hasil analisa :

Konsentrasi (mg/l)	Absorban
0,0	0,00
0,2	0,10
0,3	0,18
0,5	0,26
0,7	0,40
1,0	0,60
1,5	0,75
2,0	1,30

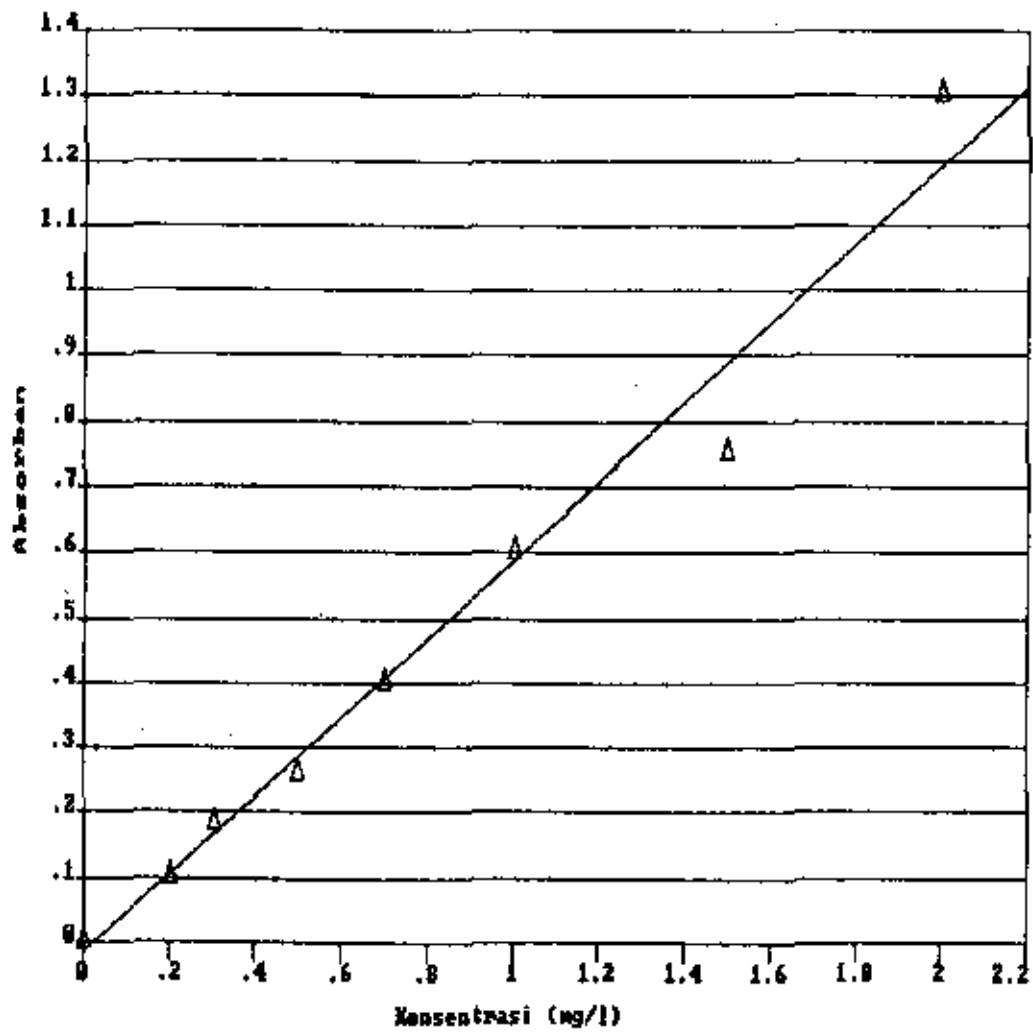
Data regresi linear :

Jumlah sampel : 8

Persamaan regresi : $y = -1,555 * 10^{-2} + 6,041 * 10^{-2} x$

R squared : 0,9872

Kurva kalibrasi



Gambar 1.3. Kurva kalibrasi phosphate

C. Penyiapan Sampel

Air limbah pabrik tahu memiliki kandungan sebagai berikut :

$$\text{COD} = 6500 \text{ mg/l}$$

$$\text{N}_{\text{total}} = 43 \text{ mg/l}$$

$$\text{P}_{\text{total}} = 13 \text{ mg/l}$$

Dari kondisi tersebut, maka perbandingan COD : N : P = 100 : 0,66 : 0,2.

Jika diinginkan pembebanan (feeding) dengan tiga variasi yaitu COD:N:P = 100:1,25:0,25, COD:N:P = 100:5:1 dan COD:N:P = 100:1,25:0,25, maka perhitungan senyawa-senyawa yang ditambahkan adalah sebagai berikut :

1. Perbandingan COD:N:P = 100:1,25:0,25

↔ Untuk menambah unsur N dipakai Urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)

unsur N yang perlu ditambahkan,

$$= 1,25 - 0,66$$

$$= 0,59 \text{ mg/l}$$

urea yang perlu ditambahkan (BM $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 = 60$),

$$= 60/28 \times 0,59$$

$$= 1,264 \text{ mg/l}$$

untuk COD = 2000 mg/l, maka urea yang dibutuhkan

$$= 2000/100 \times 1,264$$

$$= 25,286 \text{ mg/l}$$

↔ Untuk menambah unsur P digunakan KH_2PO_4

unsur P yang perlu ditambahkan,

$$= 0,25 - 0,2$$

$$= 0,05 \text{ mg/l}$$

KH_2PO_4 yang perlu ditambahkan (BM $\text{KH}_2\text{PO}_4 = 136$),

$$= 136/31 \times 0,05$$

$$= 0,219 \text{ mg/l}$$

untuk COD = 2000 mg/l, maka KH_2PO_4 yang dibutuhkan

$$= 2000/100 \times 0,219$$

$$= 4,387 \text{ mg/l}$$

2. Perbandingan COD:N:P = 100:5:1

↔ Untuk menambah unsur N dipakai Urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)

unsur N yang perlu ditambahkan,

$$= 5 - 0,66$$

$$= 4,34 \text{ mg/l}$$

urea yang perlu ditambahkan (BM $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 = 60$),

$$= 60/28 \times 4,34$$

$$= 9,300 \text{ mg/l}$$

untuk COD = 2000 mg/l, maka urea yang dibutuhkan

$$= 2000/100 \times 9,300$$

$$= 186 \text{ mg/l}$$

↔ Untuk menambah unsur P digunakan KH_2PO_4

unsur P yang perlu ditambahkan,

$$= 1 - 0,2$$

$$= 0,8 \text{ mg/l}$$

KH_2PO_4 yang perlu ditambahkan (BM $\text{KH}_2\text{PO}_4 = 136$),

$$= 136/31 \times 0,8$$

$$= 3,510 \text{ mg/l}$$

untuk COD = 2000 mg/l, maka KH_2PO_4 yang dibutuhkan

$$= 2000/100 \times 3,510$$

$$= 70,200 \text{ mg/l}$$

3. Perbandingan COD:N:P = 100:10:2

↔ Untuk menambah unsur N dipakai Urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)

unsur N yang perlu ditambahkan,

$$= 10 - 0,66$$

$$= 9,34 \text{ mg/l}$$

urea yang perlu ditambahkan (BM $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 = 60$),

$$= 60/28 \times 9,34$$

$$= 20,143 \text{ mg/l}$$

untuk COD = 2000 mg/l, maka urea yang dibutuhkan

$$= 2000/100 \times 20,143$$

$$= 400,286 \text{ mg/l}$$

↔ Untuk menambah unsur P digunakan KH_2PO_4

unsur P yang perlu ditambahkan,

$$= 2 - 0,2$$

$$= 1,8 \text{ mg/l}$$

KH_2PO_4 yang perlu ditambahkan (BM $\text{KH}_2\text{PO}_4 = 136$),

$$= 136/31 \times 1,8$$

$$= 7,897 \text{ mg/l}$$

untuk COD = 2000 mg/l, maka KH_2PO_4 yang dibutuhkan

$$= 2000/100 \times 7,897$$

$$= 157,935 \text{ mg/l}$$

D. Pengaturan Debit

Perhitungan debit yang mengalir ke dalam reaktor anaerobik secara kontinyu adalah sebagai berikut :

Diketahui : volume reaktor = 5 l, dan

konsentrasi COD influen 2000 mg/l,

maka debit yang dialirkan pada :

↔ waktu detensi 24 jam

$$\begin{aligned} \text{COD influen} &= \frac{\text{waktu detensi}}{2000 \text{ mg/l}} = 2 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{hari} \\ Q &= 0,005 \text{ m}^3/24 \text{ jam} \times 10^3 \text{ l/m}^3 \times 1 \text{ jam/60 menit} \\ &= 3,47 \times 10^{-3} \text{ l/menit} = 3,47 \text{ ml/menit} \end{aligned}$$

↔ waktu detensi 18 jam

$$\begin{aligned} \text{COD influen} &= \frac{\text{waktu detensi}}{2000 \text{ mg/l}} = 2,67 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{hari} \\ Q &= 0,005 \text{ m}^3/18 \text{ jam} \times 10^3 \text{ l/m}^3 \times 1 \text{ jam/60 menit} \\ &= 4,63 \times 10^{-3} \text{ l/menit} = 4,63 \text{ ml/menit} \end{aligned}$$

↔ waktu detensi 12 jam

$$\begin{aligned} \text{COD influen} &= \frac{\text{waktu detensi}}{2000 \text{ mg/l}} = 4 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{hari} \\ Q &= 0,005 \text{ m}^3/12 \text{ jam} \times 10^3 \text{ l/m}^3 \times 1 \text{ jam/60 menit} \\ &= 6,94 \times 10^{-3} \text{ l/menit} \end{aligned}$$

↔ waktu detensi 9 jam

$$\begin{aligned} \text{maka beban organik} &= \frac{\text{COD influen}}{\text{waktu detensi}} \\ &= \frac{2000 \text{ mg/l}}{0,375 \text{ hari}} = 5,3 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{hari} \end{aligned}$$

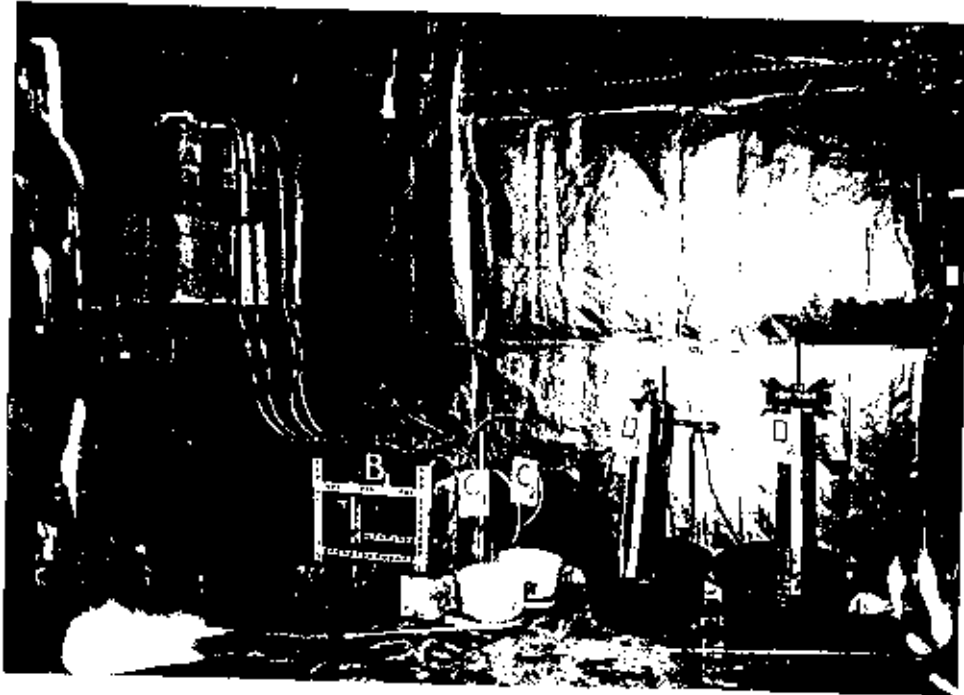
$$\begin{aligned} Q &= 0,005 \text{ m}^3/9 \text{ jam} \times 10^3 \text{ l/l m}^3 \times 1 \text{ jam}/60 \text{ menit} \\ &= 2,26 \times 10^{-3} \text{ l/menit} \end{aligned}$$

↔ waktu detensi 6 jam

$$\begin{aligned} \text{maka beban organik} &= \frac{\text{COD influen}}{\text{waktu detensi}} \\ &= \frac{2000 \text{ mg/l}}{0,25 \text{ hari}} = 8 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= 0,005 \text{ m}^3/6 \text{ jam} \times 10^3 \text{ l/l m}^3 \times 1 \text{ jam}/60 \text{ menit} \\ &= 1,39 \times 10^{-2} \text{ l/menit} \end{aligned}$$

E. Foto-foto

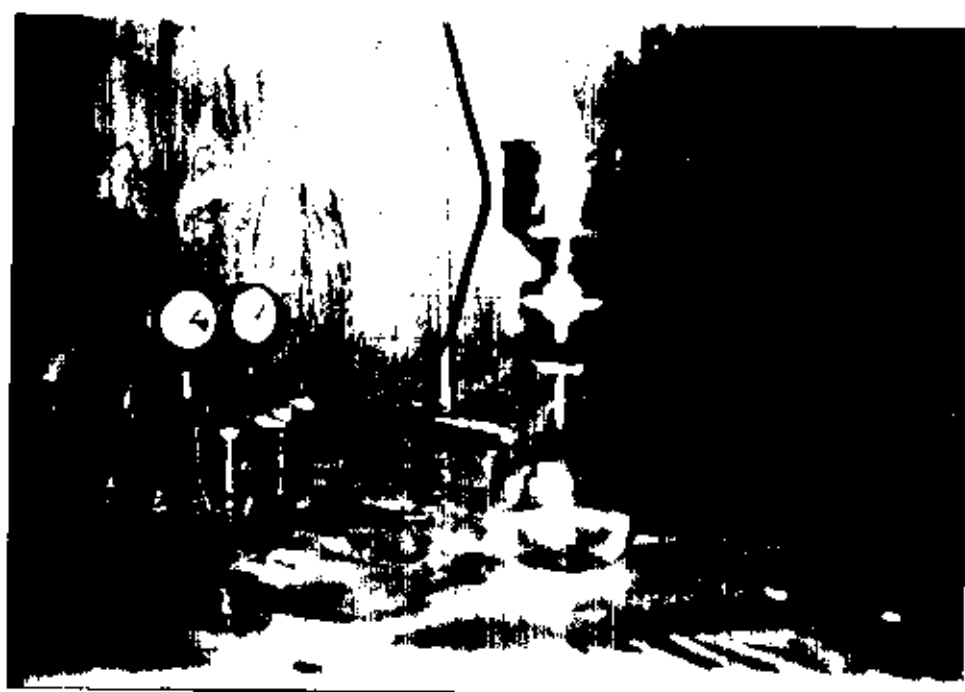


Keterangan : A = bak influen
 B = reaktor anaerobik
 C = selang effluen
 D = tabung penangkap gas

Gambar L. 4. Instalasi pengolahan yang dipakai untuk penelitian



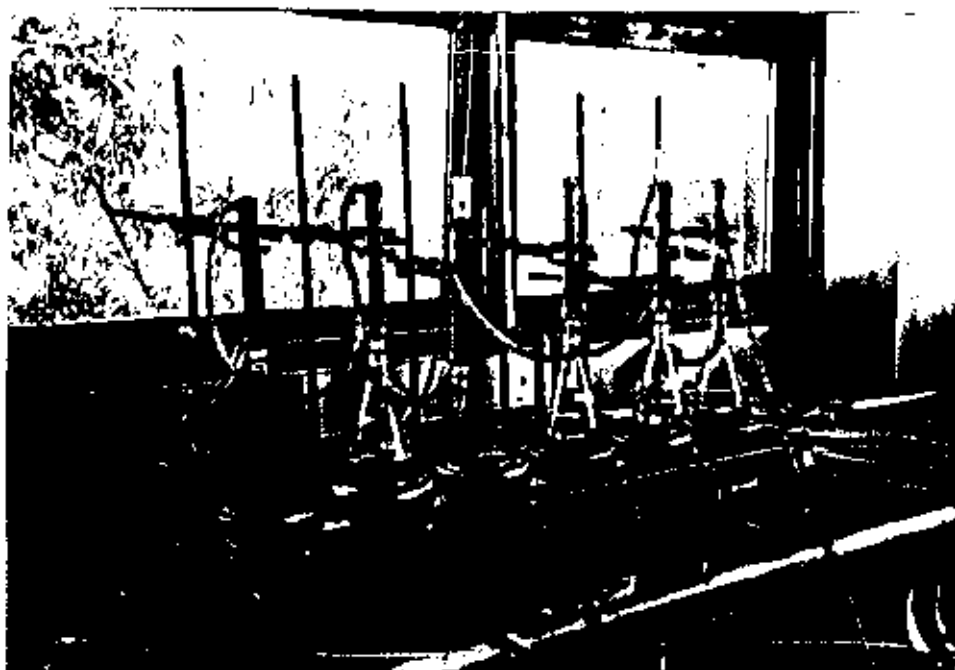
Gambar L. 5. Peralatan menimbang dan desikator



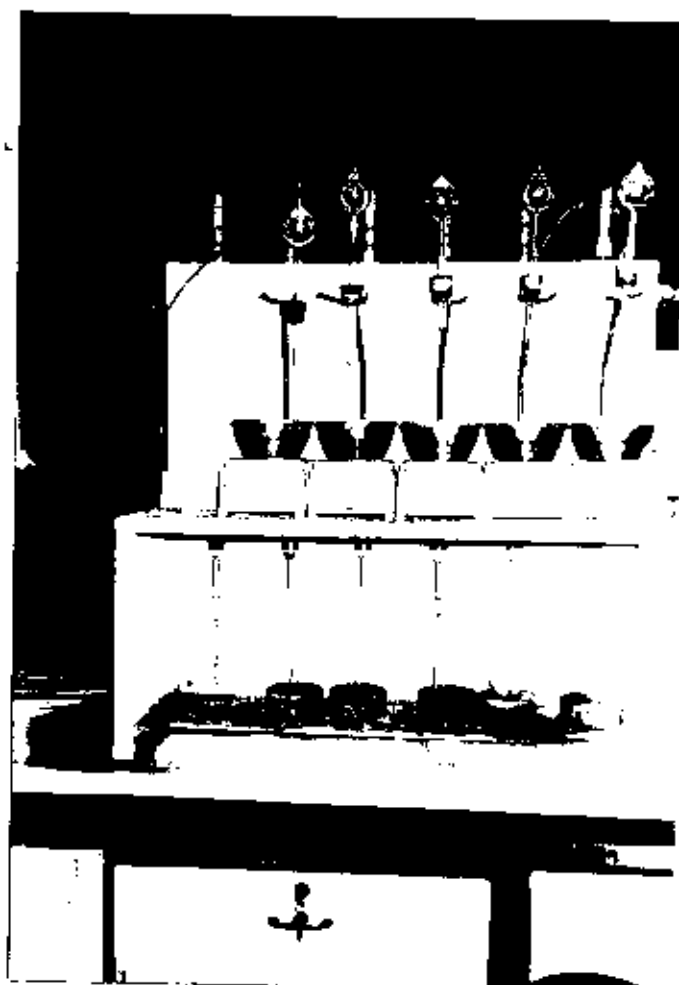
Gambar L. 6. Vacuum filter



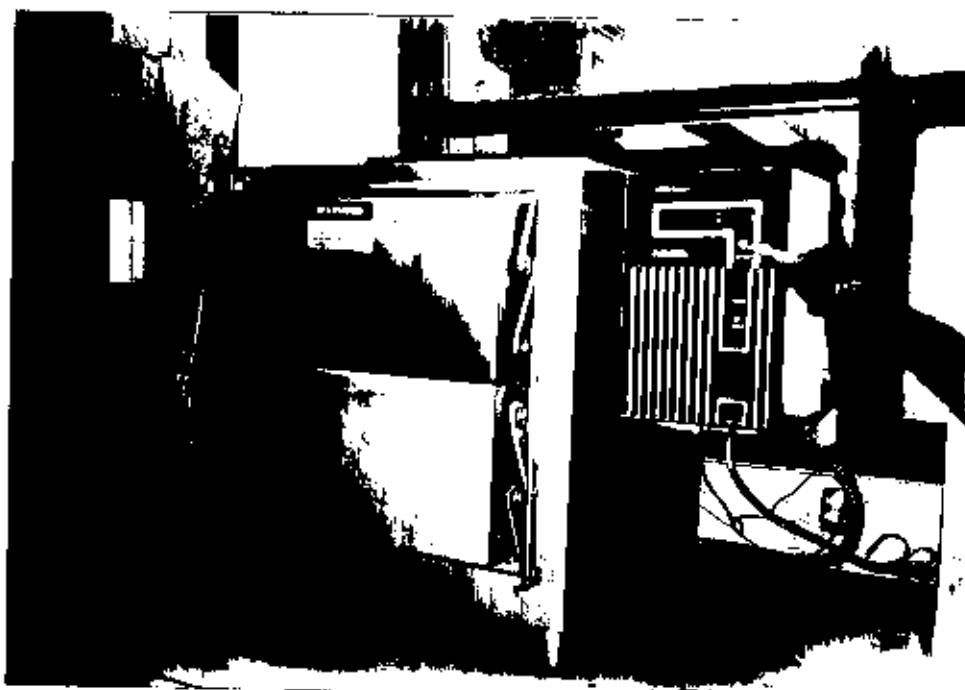
Gambar L. 7. Peralatan spektrofotometer



Gambar L. 8. Peralatan analisa COD



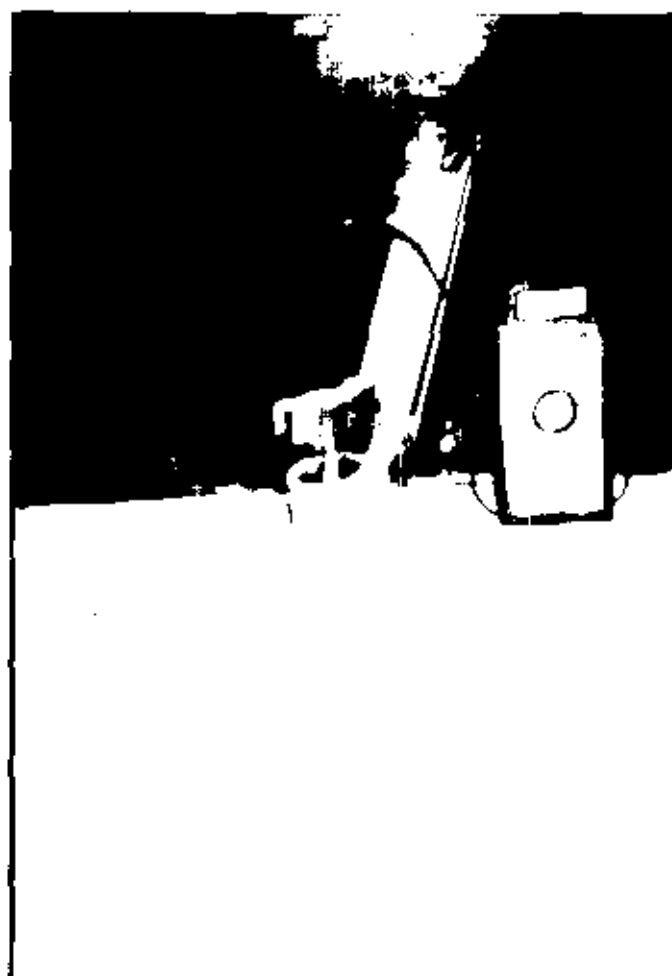
L. 9. Peralatan pemanas untuk analisa N-Kjeldahl



Gambar L. 10. Furnace untuk pembakaran 550°C

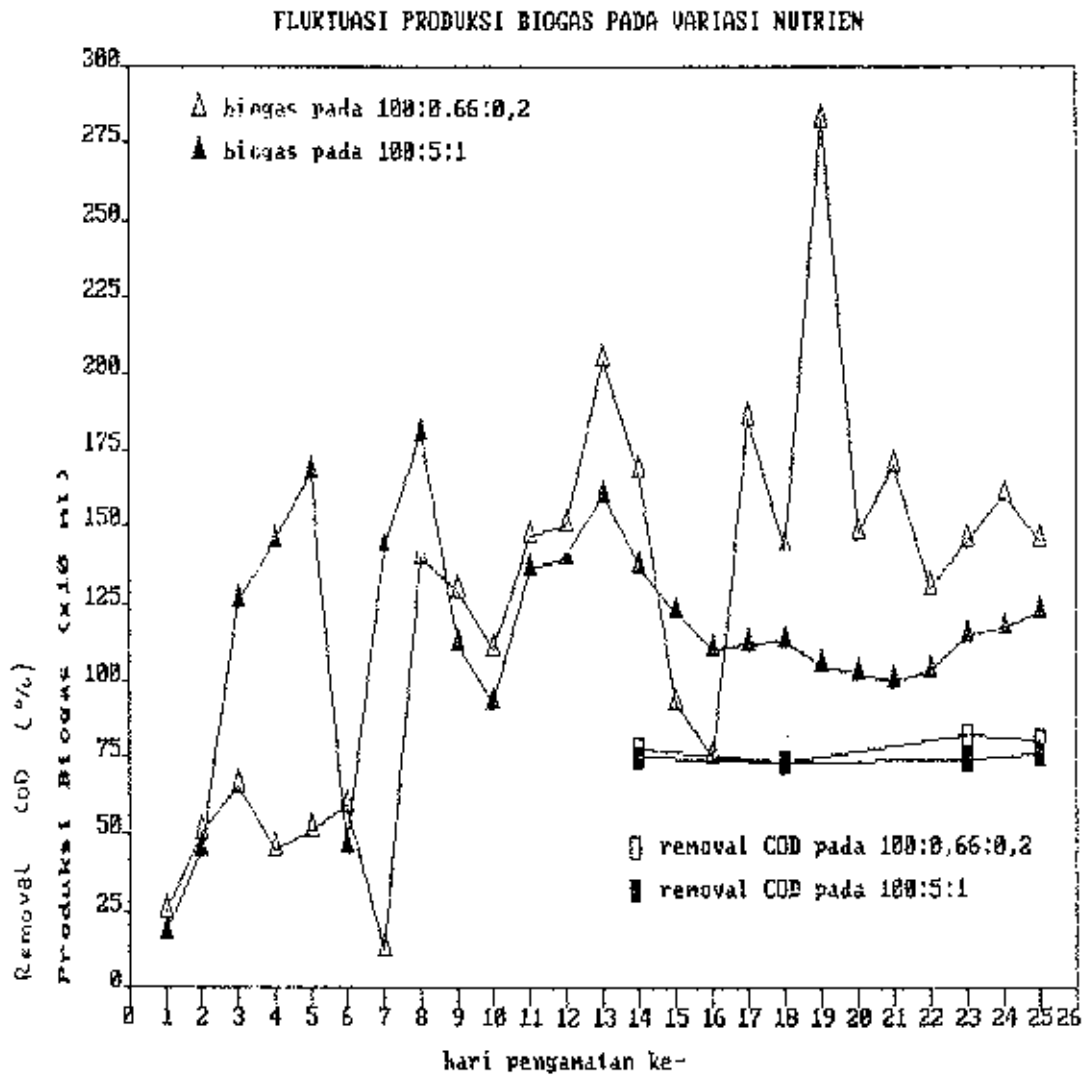


Gambar L. 11. Oven pemanas

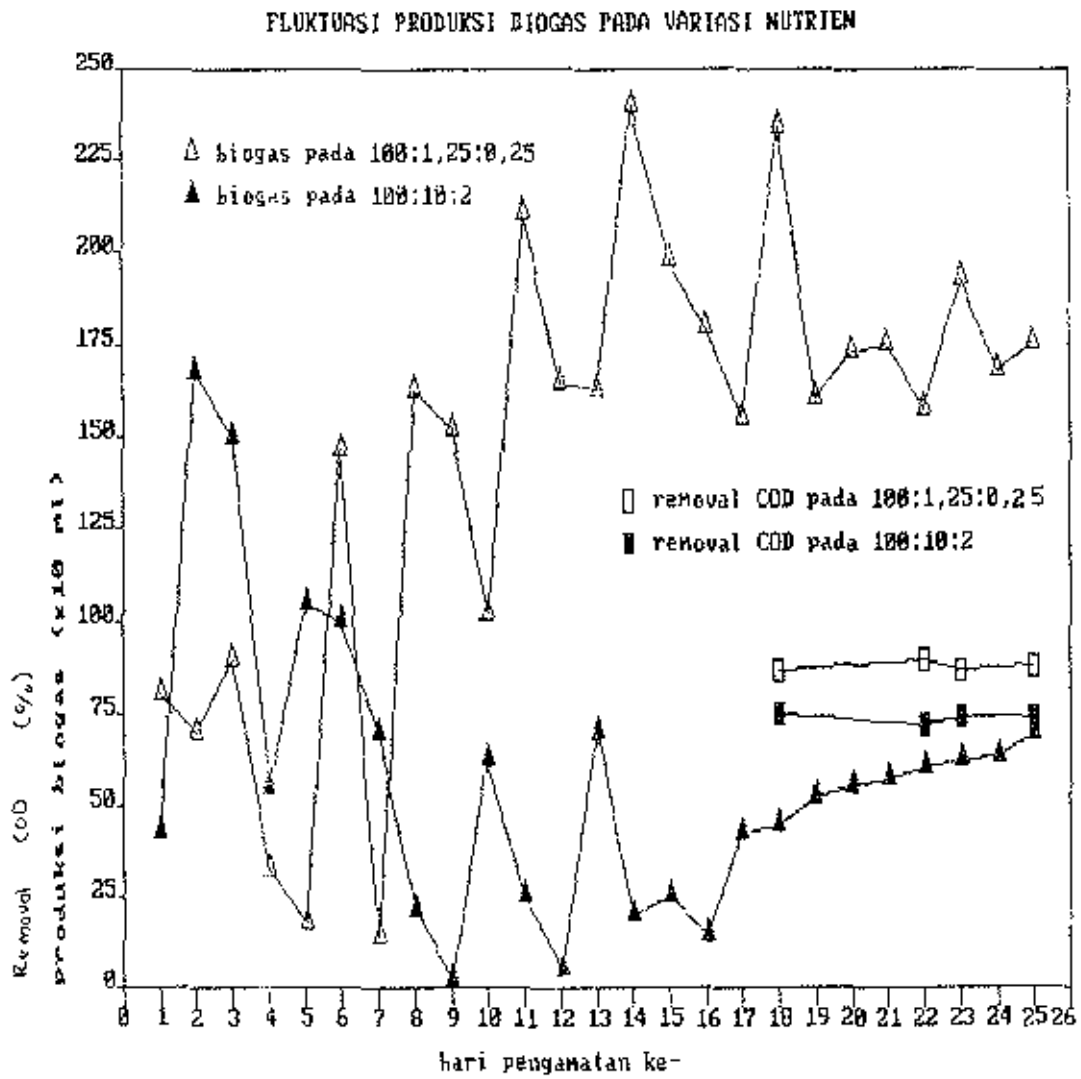


Gambar L. 12. Peralatan pH meter

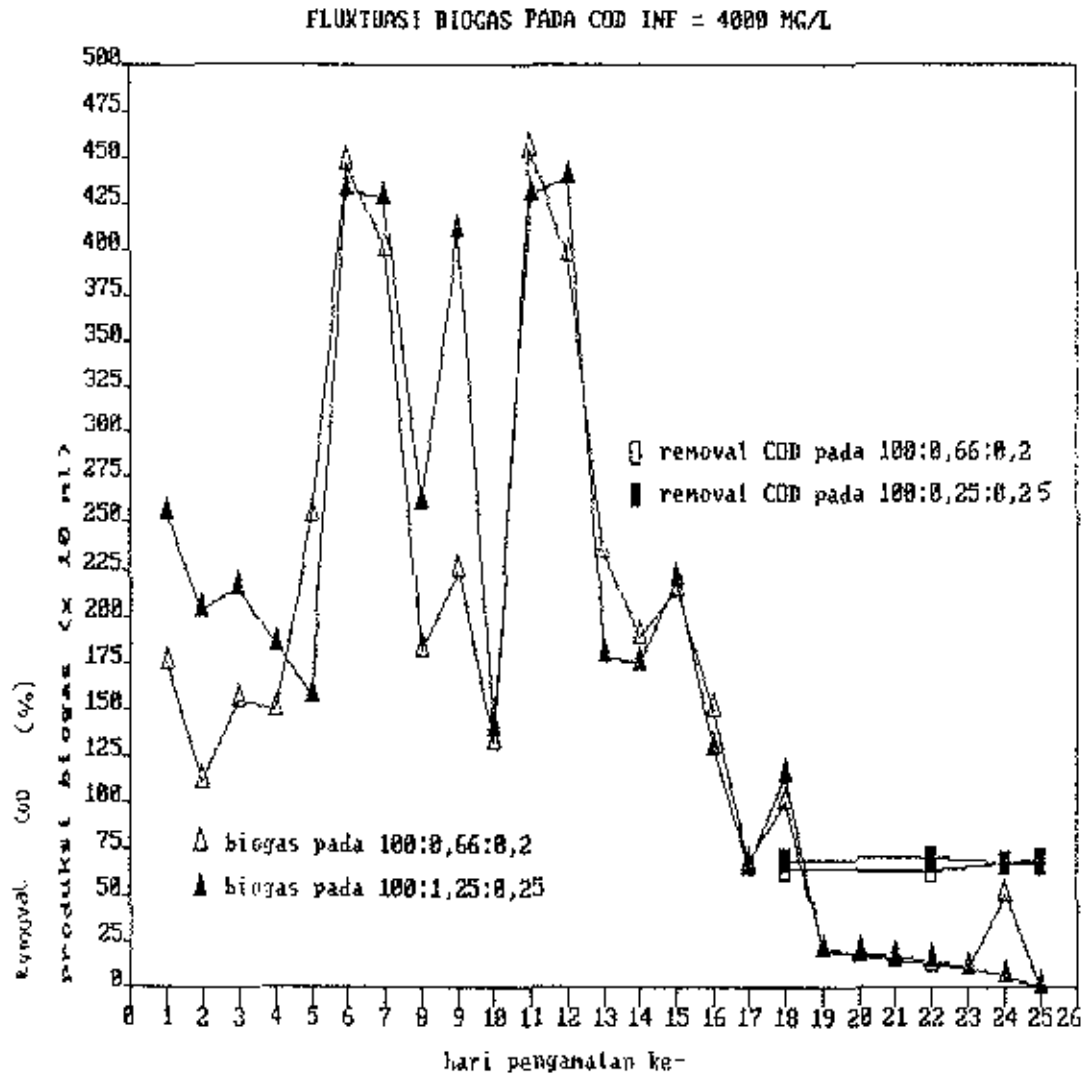
F. Fluktuasi Produksi Biogas



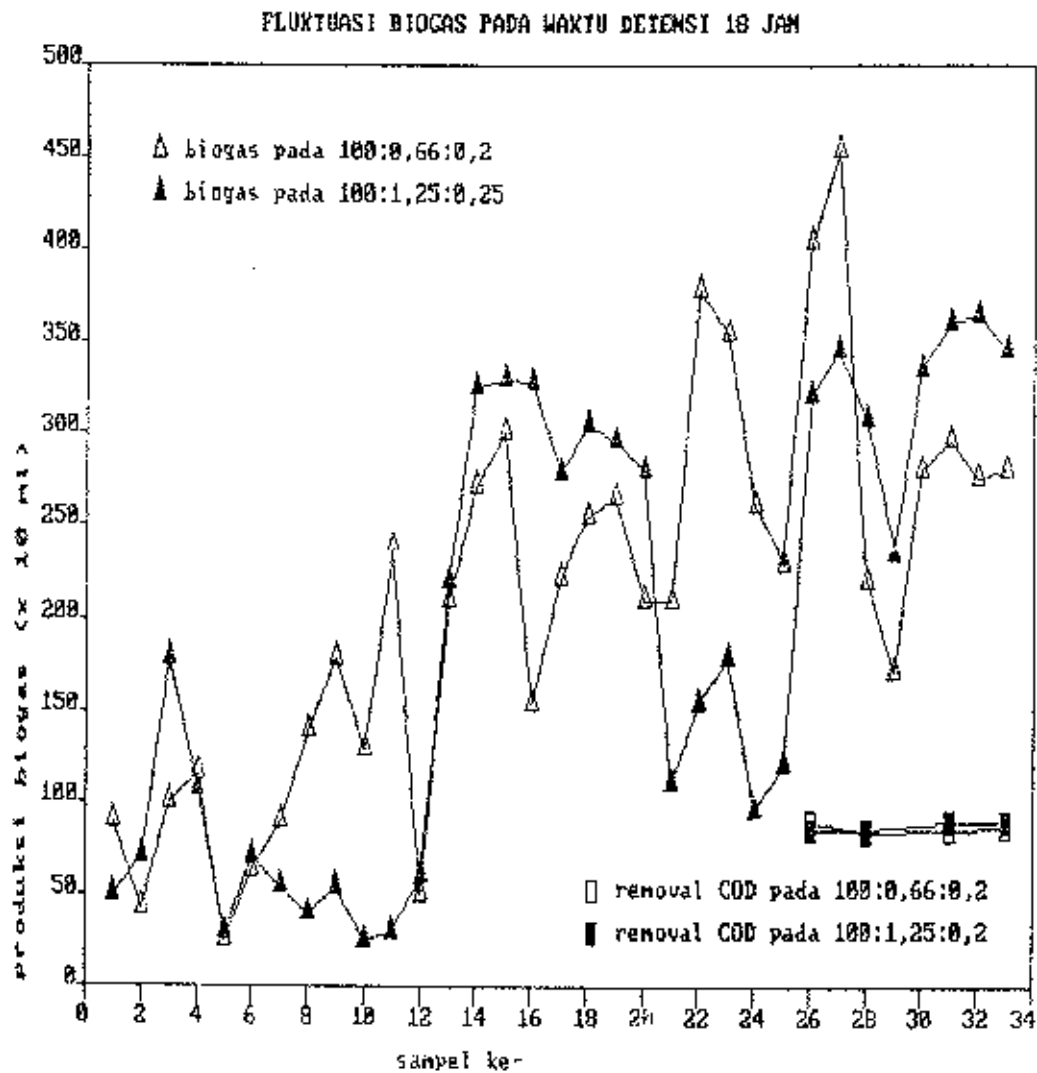
Gambar L. 19. Fluktuasi produksi biogas dan penurunan kandungan COD pada variasi nutrisi I



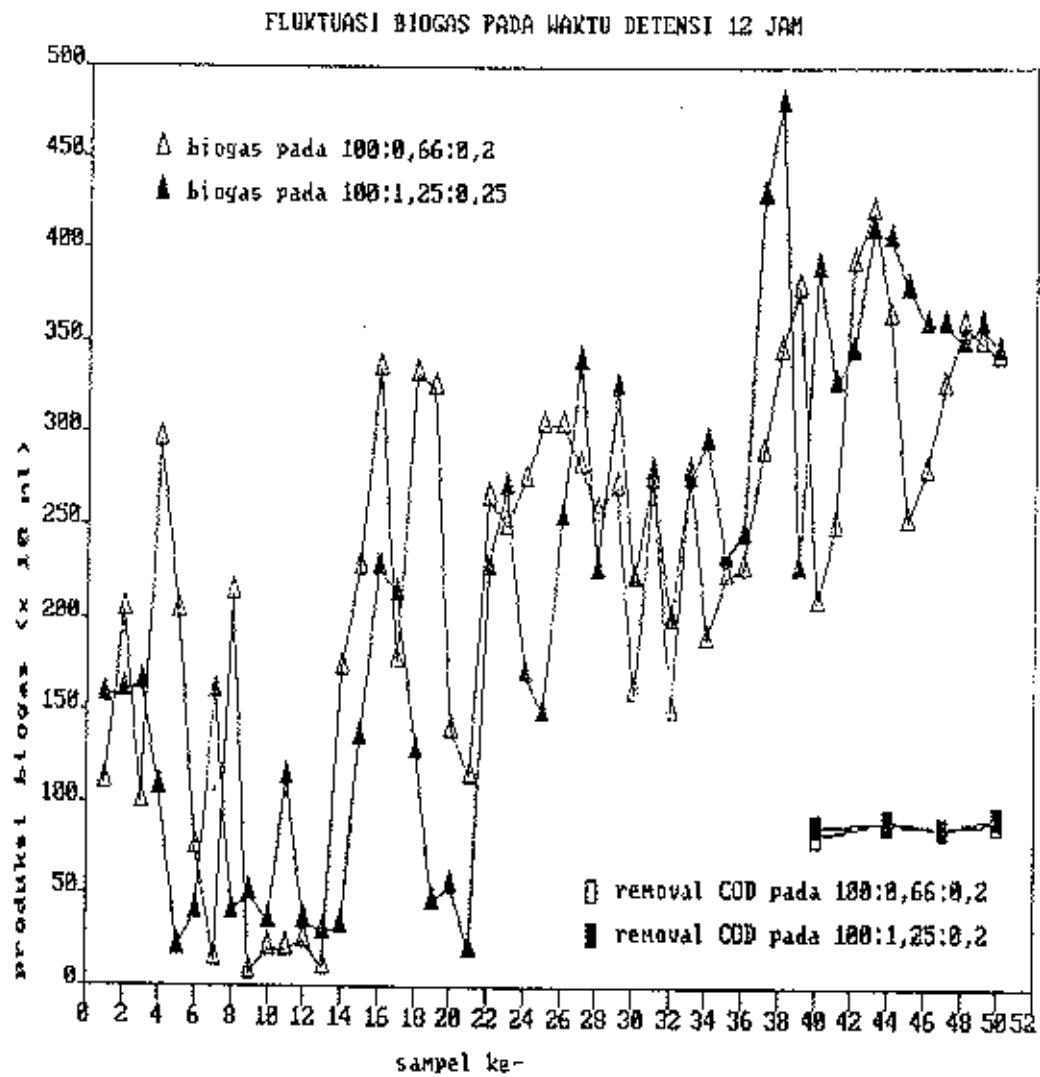
Gambar L. 14. Fluktuasi produksi biogas dan penurunan kandungan COD pada variasi nutrisi II



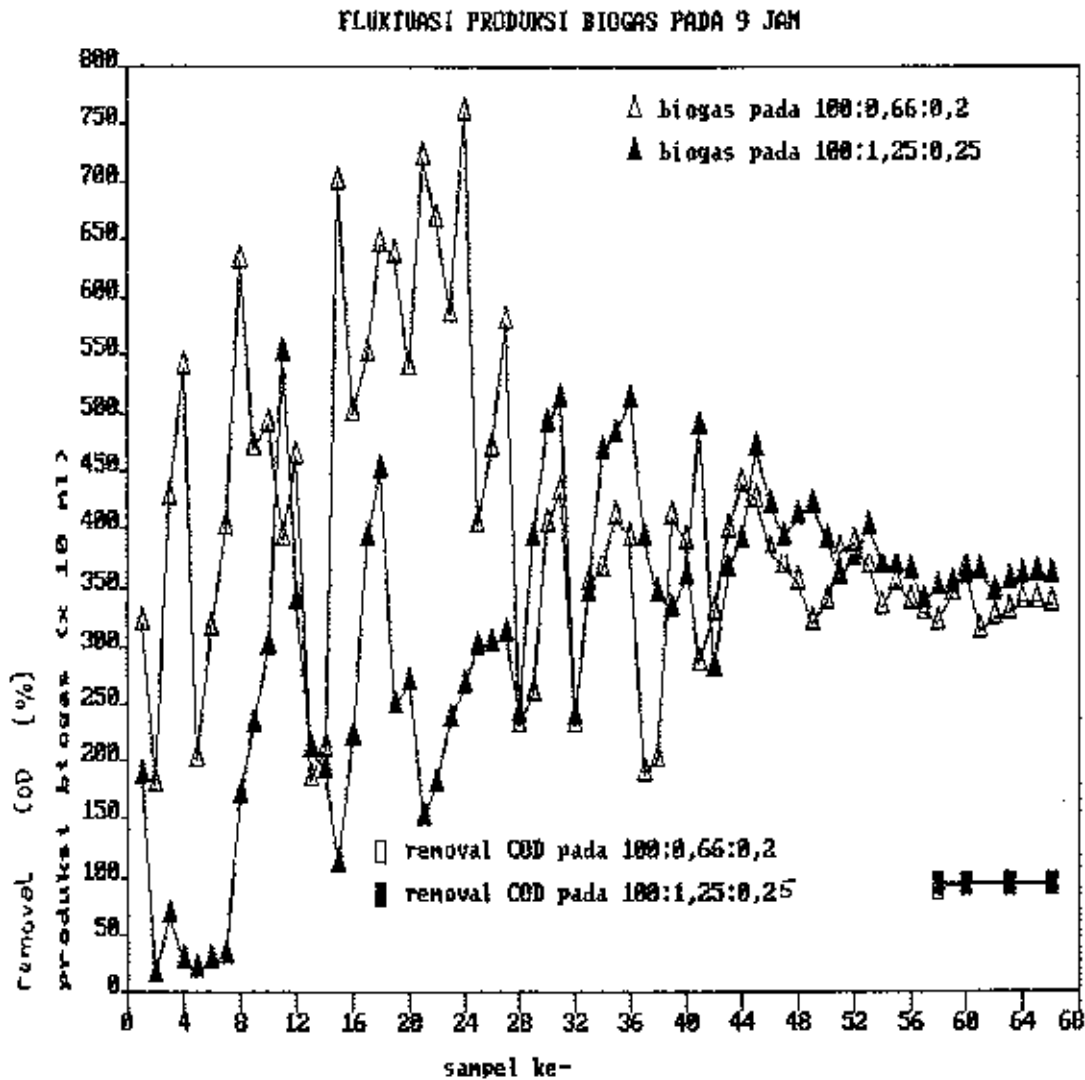
Gambar L. 15. Fluktuasi produksi biogas dan penurunan kandungan COD pada COD influen 4000 mg/l dan waktu detensi 24 jam



Gambar L. 10. Fluktuasi produksi biogas dan penurunan kandungan COD pada waktu detensi 18 jam dan COD influen 2000 mg/l



Gambar L. 17. Fluktuasi produksi biogas dan penurunan kandungan COD pada waktu detensi 12 jam dan COD influen 2000 mg/l



Gambar L. 18. Fluktuasi produksi biogas dan penurunan kandungan COD pada waktu detensi 9 jam dan COD influen 2000 mg/l